

ALGORITMO HEURÍSTICO PARA O PROBLEMA DO CORTE BIDIMENSIONAL DE PEÇAS IRREGULARES NA INDÚSTRIA DO VESTUÁRIO

Andressa Schneider Alves^{a*}, José Luís Farinatti Aymone^b

^a*Instituto Federal de Santa Catarina-UFSC, Florianópolis-SC, Brasil*

^b*Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Rio Grande do Sul-RS, Brasil*

Resumo

Neste artigo é apresentado um algoritmo heurístico para o problema de corte de moldes na indústria do vestuário. Este problema é conhecido como corte bidimensional de formas irregulares, onde as peças pequenas possuem formato irregular (moldes) e devem ser encaixadas em um retângulo (tecido). O objetivo principal é minimizar o desperdício de material. O algoritmo proposto é baseado na representação geométrica dos moldes e do tecido através do método *raster*, em critérios de ordenamento e na construção do leiaute através do deslocamento em eixos. Apresenta de forma inédita a implementação da técnica 80/20, na etapa de ordenamento das peças, para o problema do corte de itens irregulares. O algoritmo foi implementado no software Riscare® e comparou-se a eficiência do mesmo através de exemplos apresentados por outros autores. Dos oito problemas comparados, o Riscare® alcançou, em quatro deles, comprimentos menores e em um obteve a solução ótima.

Palavras-Chave: Heurística, Empacotamento, Corte, Aplicações no mundo real, Vestuário.

Abstract

In this paper a heuristic algorithm for the packing problem in the garment industry is presented. This problem is known as two-dimensional packing of pieces, where the small irregular pieces (patterns) are nested in a rectangle (fabric). The main goal is to minimize the material waste. The proposed algorithm is based on graphical representation of the pattern and fabric using the raster method, ordering criteria and layout construction with x-axis and y-axis displacement. The article uses the 80/20 technique in a new way for ordering the pieces during the packing. The algorithm is implemented in Riscare® software and efficiency is compared with literature results. From the eight problems compared, Riscare® software achieved smaller layout length in four problems. Also, one optimal solution was obtained.

Keywords: Heuristic, Packing, Cutting, Real-word applications, Clothing.

*Autor para correspondência: e-mail: andressaschneideralves@gmail.com

1. Introdução

A indústria do vestuário no Brasil é responsável por um alto volume de empregabilidade de mão-de-obra, produção e exportação de produtos manufaturados e geração de lucro. Faz parte do processo produtivo dessa indústria o problema do corte de peças irregulares sobre o tecido para posterior etapa de confecção dos produtos do vestuário.

O problema de corte de peças com formato irregular está presente em diversas indústrias de manufatura, além da indústria do vestuário, como, indústria naval, corte de chapas de madeiras, plásticos, vidro e papel. O problema consiste em um número de peças com formato irregular que devem ser combinadas em um material que será cortado, de forma que a disposição das peças seja a mais eficiente possível e que não haja sobreposição entre as peças. O material que será cortado tem formato retangular, possui largura pré-determinada e o comprimento não restringe o plano de corte, uma vez que sua dimensão é muito maior do que a largura. Segundo a tipologia proposta por Wäscher, Haussner e Schumann (2007), os problemas tratam de formas irregulares bidimensionais e compõem os casos de corte (*cutting* e *packing*).

Os problemas de corte são considerados NP-hard, problemas de programação inteira em que a solução ótima dificilmente será encontrada em tempo razoável utilizando abordagens com algoritmos exatos. Essa dificuldade pode ser comprovada pelo fato de que nenhum método exato é relatado na literatura, somente soluções por meio de heurísticas e algoritmos de aproximação têm sido desenvolvidas.

É possível encontrar na literatura uma variedade de métodos e uma grande quantidade de artigos, desse modo não é possível relatar nesta seção todas as técnicas desenvolvidas. Para maior aprofundamento recomenda-se a leitura de Dowsland e Dowsland (1995), Hopper (2000), Nielsen e Odgaard (2003) e Bennell e Oliveira (2009). Entre as publicações com melhores resultados e com diferentes abordagens, destacam-se os algoritmos 2DNest, apresentado em Egeblad, Nielsen e Odgaard (2007); *two-stage packing*, publicado em Wong *et al.* (2009); polígono *no-fit* com linha e arco, apresentado por Burke *et al.* (2010); ELS, proposto por Leung, Lin e Zhang (2012); algoritmo híbrido utilizando o *Cuckoo search*, publicado em Elkeran (2013); e algoritmos para corte em matérias-primas com defeitos, denominados de SNH1, SNH2, SNH3 e Heurística Lagrangean, publicado em Baldacci *et al.* (2014).

No presente artigo empregou-se o método *raster* (representação das peças por meio de um conjunto de *grids* com informações numéricas) (BENNEL e OLIVEIRA, 2008) para representar geometricamente o tecido e os moldes. Atualmente, o método *no-fit* (representação

das peças por vetores formando polígonos) (BENNELL e OLIVEIRA, 2008) tem sido empregado de modo mais amplo para a resolução dos problemas de corte do que o método *raster*. Apesar da alta eficiência computacional, este método possui algumas limitações, tais como o elevado tempo computacional para utilizá-lo em matérias-primas com defeitos ou especificações. Essas situações são comuns na indústria do vestuário, uma vez que a verificação de regiões com defeitos nos tecidos e a confecção de produtos com tecidos estampados, listrados e xadrezes são práticas frequentes. Dessa forma, optou-se pela utilização do método *raster*, já que a técnica foi direcionada para o problema da indústria do vestuário.

O presente trabalho está organizado em quatro seções. Após a introdução, na seção dois é apresentada a formulação do problema. Em seguida, na seção três, é apresentado o algoritmo heurístico desenvolvido e implementado no software Riscare®. O software Riscare foi desenvolvido em ambiente e para fins acadêmicos e está registrado no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) do Brasil com o número 12048-2. Na seção quatro, são apresentados os resultados obtidos com a técnica proposta e comparações com problemas considerados *benchmarks* da literatura. Na quinta seção, são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido.

2. Formulação do problema

O problema do corte bidimensional de formas irregulares consiste em uma lista \mathbf{P} de peças com formatos irregulares $\mathbf{P} = (a_1, \dots, a_n)$, onde a_i é uma peça. Cada peça tem largura $w(a_i)$ e comprimento $l(a_i)$ e sua posição na área retangular em que será encaixada é identificada por $x(a_i)$ e $y(a_i)$, considerando-se o canto inferior esquerdo como o ponto 0 (origem) do plano cartesiano. As peças devem ser inseridas em uma área retangular $\mathbf{T}(\mathbf{W}, \mathbf{L})$ que possui largura fixa \mathbf{W} e comprimento \mathbf{L} , que deve ser minimizado. O objetivo do problema é encaixar todas as peças pertencentes à lista \mathbf{P} na área retangular $\mathbf{T}(\mathbf{W}, \mathbf{L})$, de tal forma que seja minimizado o comprimento \mathbf{L} utilizado de $\mathbf{T}(\mathbf{W}, \mathbf{L})$. Uma solução possível deve cumprir as seguintes restrições: todas as peças devem estar dentro da área retangular $\mathbf{T}(\mathbf{W}, \mathbf{L})$ e não deve haver sobreposição entre as peças.

3. Algoritmo heurístico para o problema do corte

Esta seção descreve o algoritmo heurístico proposto para o corte bidimensional de formas irregulares. Para poder resolver o problema do corte foi necessário o desenvolvimento de três

algoritmos principais que são apresentados respectivamente nas subseções: Representação geométrica das peças, Critérios de Ordenamento e Algoritmo de Corte.

3.1 Representação geométrica das peças

Existem dois tipos de formas geométricas envolvidos no problema do corte de peças da indústria do vestuário. O primeiro tipo são as peças com formato irregular, denominadas de moldes. O segundo tipo é o material que será cortado, neste caso o tecido, que possui formato retangular. A representação geométrica do tecido e dos moldes é feita através do método *raster* (BENNEL e OLIVEIRA, 2008). Os moldes e o tecido são representados por *grids* de finitas partes de igual dimensão. A dimensão de cada *grid* corresponde a uma unidade de medida, sendo dependente da unidade de medida dos moldes e do tecido. Dessa forma, o usuário pode definir a precisão desejada conforme os dados de entrada.

O que difere o tecido dos moldes é a informação contida no *raster*. O tecido, enquanto nenhum molde for encaixado, é todo representado pelo número 0. O número 0 representa um local vazio, em que os moldes podem ser encaixados.

A representação do *raster* dos moldes (Fig. 1) é feito de modo semelhante ao proposto por Segenreich e Braga (1986 *apud* Bennell e Oliveira, 2008). Os moldes são contornados por um retângulo envolvente e, do mesmo modo que na representação do tecido, os espaços vazios são identificados pelo número 0. Os *grids* correspondentes ao contorno dos moldes são identificados pelo número 1 e as partes internas pelo número 3.

Em Alves e Aymone (2013) é apresentada a transformação computacional do desenho dos moldes em arquivo vetorial para uma matriz com conteúdos numéricos (Fig. 1). Nesta figura, a dimensão dos *grids* foi aumentada para facilitar o entendimento da conversão das linhas em *grids*. Partindo do molde desenhado em um software CAD, o software Riscare verifica o comprimento e a largura máximos do molde, insere os *grids* utilizando as medidas da largura e comprimento máximo, criando um retângulo envolvente no molde. Os *grids* correspondentes ao contorno do molde são identificados com o valor 1, os *grids* internos com o valor 3 e os *grids* vazios com zero.

O objetivo dessa representação é facilitar o processo de corte pela identificação de áreas sobrepostas de dois moldes através do somatório dos números contidos nos *grids*.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO


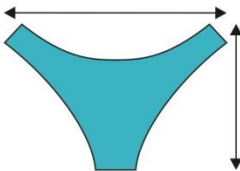
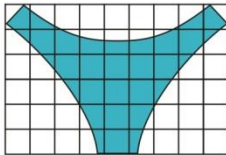
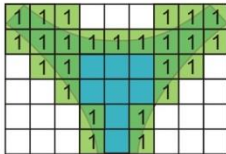
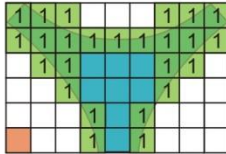
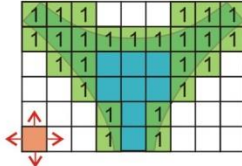

<p>1- Desenhar molde no software AutoCAD.</p>																																																							
<p>2- Salvar o arquivo com a extensão .dxf.</p>																																																							
<p>3- Abrir o arquivo no software Riscare através de um leitor de arquivos .dxf.</p>																																																							
<p>4- Verificar largura e comprimento máximo do molde.</p>																																																							
<p>5- Inserir <i>grids</i> no molde utilizando as medidas de largura e comprimento máximo. Através dos <i>grids</i> é criado um retângulo envolvente para cada molde.</p>																																																							
<p>6- Os <i>grids</i> que estão coincidindo com as linhas são identificados como contorno pelo número 1.</p>																																																							
<p>7- Para os <i>grids</i> que sobram é feito um teste individualmente para saber se aquele determinado <i>grid</i> é interior ou exterior do molde.</p>																																																							
<p>8- A partir de cada <i>grid</i> desloca-se: direita, esquerda, superior e inferior. Os resultados definem o conteúdo numérico de cada <i>grid</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se encontrar 4 pontos de linha é interior; - Se encontrar 1, 2 ou 3 pontos de linhas é exterior. 																																																							
<p>9- Representação gráfica do molde através da matriz bidimensional. O molde é salvo com os <i>grids</i> para processamento interno.</p>	<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center; width: 100px; height: 100px;"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	3	3	3	1	1	0	0	0	1	3	3	3	1	0	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0
1	1	1	0	0	0	1	1	1																																															
1	1	1	1	1	1	1	1	1																																															
0	1	1	3	3	3	1	1	0																																															
0	0	1	3	3	3	1	0	0																																															
0	0	0	1	3	1	0	0	0																																															
0	0	0	1	3	1	0	0	0																																															
<p>10- Representação gráfica do molde para o usuário do software.</p>																																																							

Figura 1 - Conversão de um arquivo vetorial para a representação pelo método raster

A Figura 2 apresenta duas pequenas peças com formato irregular, representados pelo método *raster* (à esquerda) e pelo modo vetorial (à direita), e com área sobreposta, contornada na cor vermelha na imagem à esquerda. Ainda na Figura 2, o número 2 indica uma situação possível, em que os contornos de dois moldes se encostam. O número 4 representa uma situação proibida, já que o contorno de um molde encontra-se sobre a parte interna de outro molde. Finalmente, o número 6 adverte para outra situação não permitida, a sobreposição de duas partes internas de dois moldes.

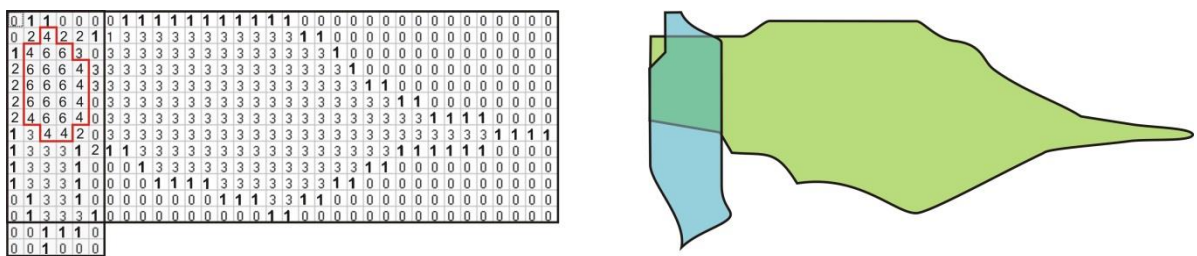


Figura 2 - Representação geométrica de dois moldes

A representação geométrica dos moldes e do tecido através do *raster* possui aspectos positivos. Entre eles destaca-se a possibilidade de representar qualquer forma geométrica através da união de pequenos quadrados. Pode-se facilmente identificar uma região de defeito no tecido através da inserção de números no *grid* naquela determinada região. Durante o processo de corte, é possível a utilização de formas com concavidades, sendo que as partes internas vazias dessas formas permitem que outros moldes possam ser encaixados. Outro ponto importante é o cálculo da área de cada um dos moldes, realizado através da soma da quantidade de *grids* que contém dentro do contorno do molde. Para se obter a dimensão do comprimento e da largura de cada molde no tecido, é necessário apenas contar a quantidade de *grids* no sentido longitudinal e transversal respectivamente. Essas mesmas vantagens para o cálculo da área, do comprimento e da largura também são aplicadas no cálculo de consumo de tecido. Além de evitar a utilização de cálculos matemáticos mais avançados, cada *grid* ainda permite conter informações.

3.2 Critérios de ordenamento

Para ordenar a sequência de moldes que são encaixados empregaram-se cinco critérios. O primeiro deles ordena os moldes em função decrescente de largura. O segundo ordena os moldes em ordem decrescente de comprimento. O terceiro critério dispõe os moldes em ordem

decrecente de perímetro. O quarto ordenamento coloca os moldes em ordem decrescente de área.

O quinto e último critério implementa a técnica dos 80/20 no processo de corte. Segundo essa técnica, aproximadamente 80% dos efeitos gerados em qualquer grande sistema são causados por 20% das variáveis daquele sistema (JURAN, 1951). Essa técnica tem ampla aplicação em diversos sistemas. Assim, empregou-se o conceito da técnica para o problema do corte bidimensional de itens irregulares. Consideram-se como variáveis críticas desse sistema as peças com maior área. Em alguns problemas a variedade das peças pode ser alta, assim não foi possível trabalhar com 20% de todos os problemas, já que o objetivo era encontrar uma boa solução em tempo razoável.

Dessa forma, optou-se por dispor os sete maiores moldes em todas as sequências possíveis, o que representa um total de 5.040 possibilidades. A escolha do número sete foi feita a partir de testes computacionais e da verificação da relação entre eficiência e tempo de processamento. A combinação dos 6 maiores moldes apresentou soluções com eficiências menores, quando comparado a combinação dos sete maiores moldes, enquanto que a combinação dos 8 maiores moldes tornou os resultados inviáveis em relação ao tempo de processamento computacional. A vantagem deste critério concentra-se no direcionamento de cálculo computacional para buscar a melhor combinação das peças que mais influenciam no rendimento do corte, as maiores. A combinação das sete maiores peças também é importante porque não se restringe a encontrar a melhor combinação entre as maiores peças. Ao trocar o ordenamento dos maiores moldes que serão inseridos no tecido, a posição desses influencia as possibilidades de inserção das menores peças.

A Figura 3 mostra os passos realizados para a implementação da técnica 80/20. Inicialmente são selecionadas as sete maiores peças que compõem o corte e ordenadas em ordem decrescente de área. Na Figura 3 as peças são exemplificadas pelas letras **a**, **b**, **c**, **d**, **e**, **f** e **g**. Após a definição das maiores peças, são criados indexadores para cada uma dessas peças.

Peças em ordem decrescente de área	Indexadores
a, b, c, d, e, f, g	i1 → peça a possui 7 posições à escolha
	i2 → peça b possui 6 posições à escolha
	i3 → peça c possui 5 posições à escolha
	i4 → peça d possui 4 posições à escolha
	i5 → peça e possui 3 posições à escolha
	i6 → peça f possui 2 posições à escolha
	i7 → peça g possui 1 posição restante
Portanto:	
a é colocado na posição i1	
se i1=0	→ (a, _, _, _, _, _, _)
i1=1	→ (_, a, _, _, _, _, _)
i1=2	→ (_, _, a, _, _, _, _)
b é colocado na posição i2	
se i1=0 e i2=0	→ (a, b, _, _, _, _, _)
i1=0 e i2=1	→ (a, _, b, _, _, _, _)
i1=0 e i2=2	→ (a, _, _, b, _, _, _)
O procedimento é o mesmo para as peças c, d, e e f .	

Figura 3 - Implementação da técnica 80/20 para o problema do corte

Os indexadores indicam os locais em que cada uma das peças deve ser inserida na sequência das sete maiores peças. O indexador **i1** da maior peça **a** indica que a mesma pode ocupar qualquer uma das sete posições da sequência e por este motivo varia na faixa de **0** até **6**. O indexador **i2** da peça seguinte **b** também indica a posição que essa peça deve ocupar na sequência. Como a peça **b** só é inserida após a peça **a**, o indexador **i2** só pode variar na faixa de **0** até **5**. O indexador **i3** da próxima menor peça varia na faixa de **0** até **4** e assim consecutivamente. O número de combinações possíveis é igual ao fatorial de sete. Este número representa as posições de combinação entre as maiores peças.

A peça maior (representada pela letra **a**) preenche o número indicado pelo indexador, que neste caso varia de **0** até **6**. Se o indexador for **0**, ela é colocada no primeiro lugar da sequência, se **1** no segundo local e assim por diante. A segunda maior peça (representada pela letra **b**) é colocada na posição indicada pelo indexador após a inserção da maior peça na sequência. Assim, se o indexador da maior peça (**a**) indica que a mesma deve ficar na primeira posição da sequência e o indexador da segunda maior peça (**b**) também indica que ela deve ficar na primeira posição da sequência, primeiro é inserida a peça **a** e depois, no primeiro local disponível, é inserida a peça **b**. Por este motivo, as possibilidades de colocação da peça **b** só

variam na faixa de **0** até **5**, porque sempre que a peça **b** for inserida a peça **a** já foi colocada e assim só restam **6** locais disponíveis.

A inserção das peças restantes **c**, **d**, **e**, **f** na sequência ocorre da mesma forma descrita para as peças **a** e **b**. Todas elas são inseridas nos locais indicados pelos indexadores (em que a faixa de variação é igual à quantidade de locais vazios) após a inserção das peças maiores que elas. Por este motivo, a última peça (**g**) não varia porque sempre sobrar um local disponível para alocá-la.

Após definidos todos os ordenamentos, os moldes são encaixados no tecido, conforme será explicado na próxima subseção Algoritmo de corte.

3.3 Algoritmo de corte

Depois de resolvidos o modo de representação geométrica das peças e os critérios de ordenamento, realiza-se a distribuição dos moldes no tecido para a etapa de corte. No presente trabalho, empregou-se a técnica *bottom-left* (BURKE *et al.*,2006), onde os moldes são colocados no tecido pela coincidência do canto inferior esquerdo do molde com o canto inferior esquerdo do tecido (indicado com um círculo vermelho na Fig. 4). Caso haja espaço disponível no tecido (representado pelo 0 no *raster*) o molde não muda de local. Caso o espaço esteja ocupado o molde é deslocado.

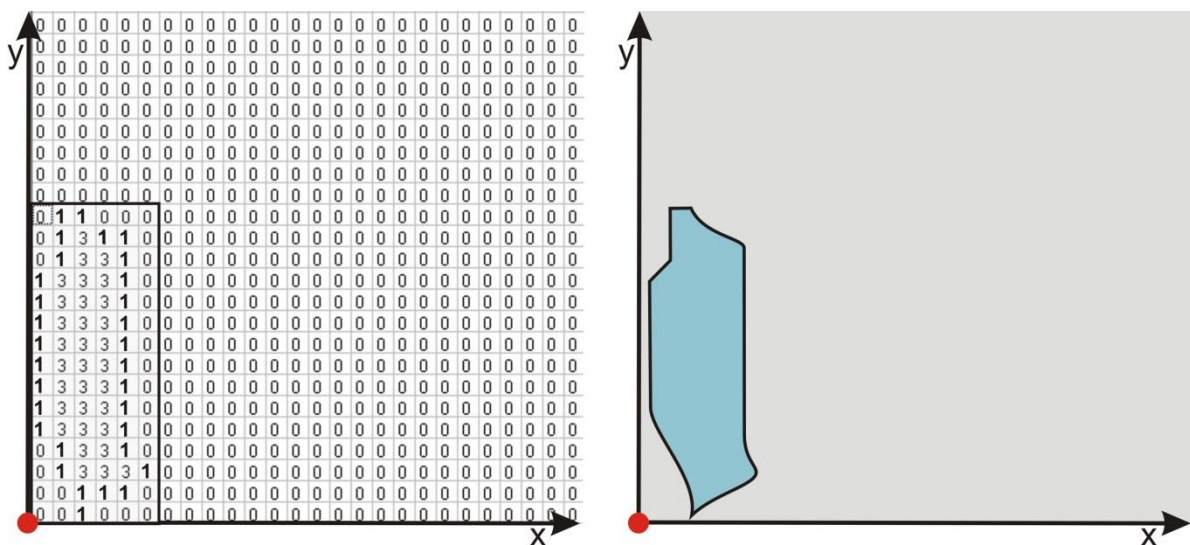


Figura 4 - Ponto inicial de inserção dos moldes no tecido

Para mover o molde da posição inicial optou-se por utilizar o deslocamento no eixo Y. O deslocamento dos moldes no eixo Y ocorre de forma semelhante ao proposto em Burke *et al.*

(2006). Após a inserção do primeiro molde no canto esquerdo inferior do tecido é colocado o molde seguinte (Fig. 5) na mesma posição inicial em que foi inserido o primeiro.

Na Figura 5 é possível observar a área de *grids*, contornada em vermelho, que indica impossibilidade daquela posição, ou seja, sobreposição de dois moldes. Indicado em amarelo na Figura 5 está o primeiro *grid* que, quando é verificado, adverte que o molde deve ser deslocado. Mostrado em verde na Figura 5 está o *grid* para onde será deslocado o molde a partir do *grid* em amarelo.

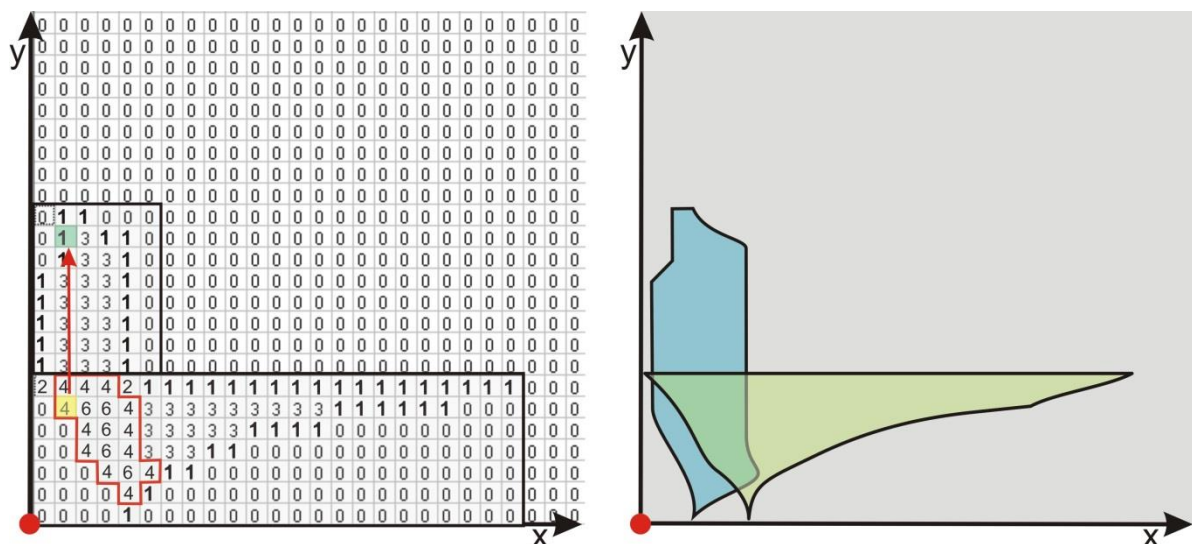


Figura 5 - Início da colocação do segundo molde e identificação de áreas sobrepostas (na identificação do primeiro *grid* com o número 4 ou 6 o molde é deslocado)

Os conteúdos de uma determinada posição do *grid* do tecido e do molde são verificados, iniciando pelo primeiro *grid* do canto esquerdo inferior, percorrendo todos os *grids* correspondentes àquela posição em X no eixo Y. Esse procedimento é realizado para verificar se não há sobreposição entre dois moldes. Se o resultado da soma dos valores do *grid* resultar no número 4 ou 6, o molde é deslocado para o *grid* do tecido no eixo Y um *grid* acima do *grid* que contenha o número 1. Através de testes e da observação do deslocamento dos moldes, notou-se que, na maioria dos casos, havia mais de um *grid* no sentido vertical com a informação de contorno, ou seja, com o número 1. Assim, optou-se por deslocar diretamente o molde para o *grid* acima do *grid* com o número 1, para evitar novos deslocamentos.

A Figura 6 mostra novamente o molde, após o deslocamento no eixo Y. Apresenta-se do mesmo modo o *grid* em amarelo, com sobreposição e o *grid* em verde, para onde o molde será deslocado. A área contornada em vermelho mostra impossibilidade de colocação do molde naquela região.

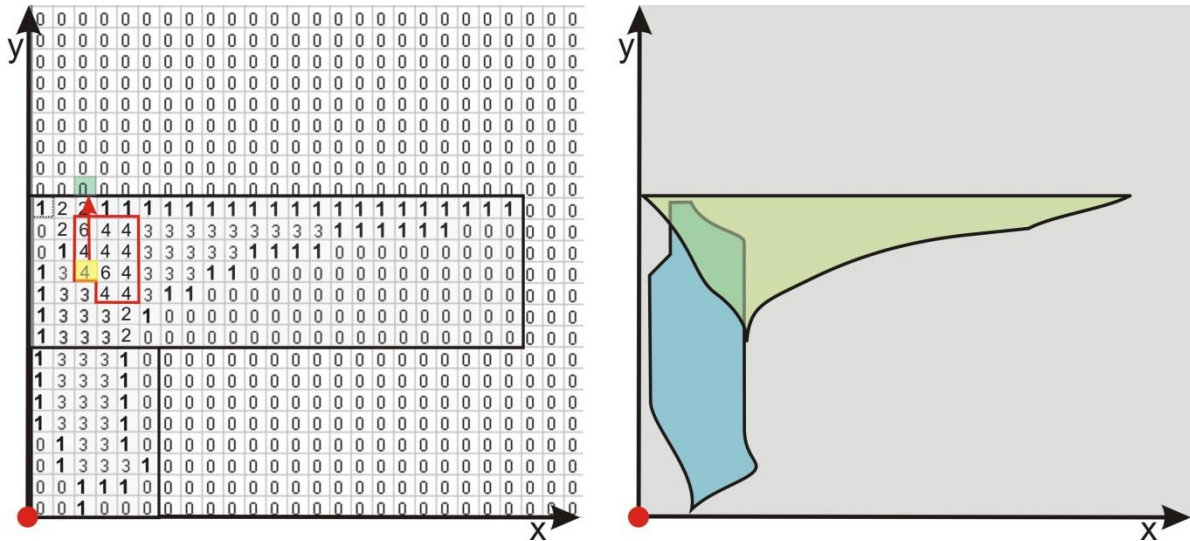


Figura 6 - Após o deslocamento do molde no eixo Y

Esse processo é realizado consecutivamente até que o molde encontre um espaço disponível. A Figura 7 apresenta, após o deslocamento, uma situação de possibilidade para a inserção do segundo molde. Dessa forma, foram necessários dois deslocamentos do segundo molde até que o mesmo encontre um local vazio e possa ser inserido no tecido.

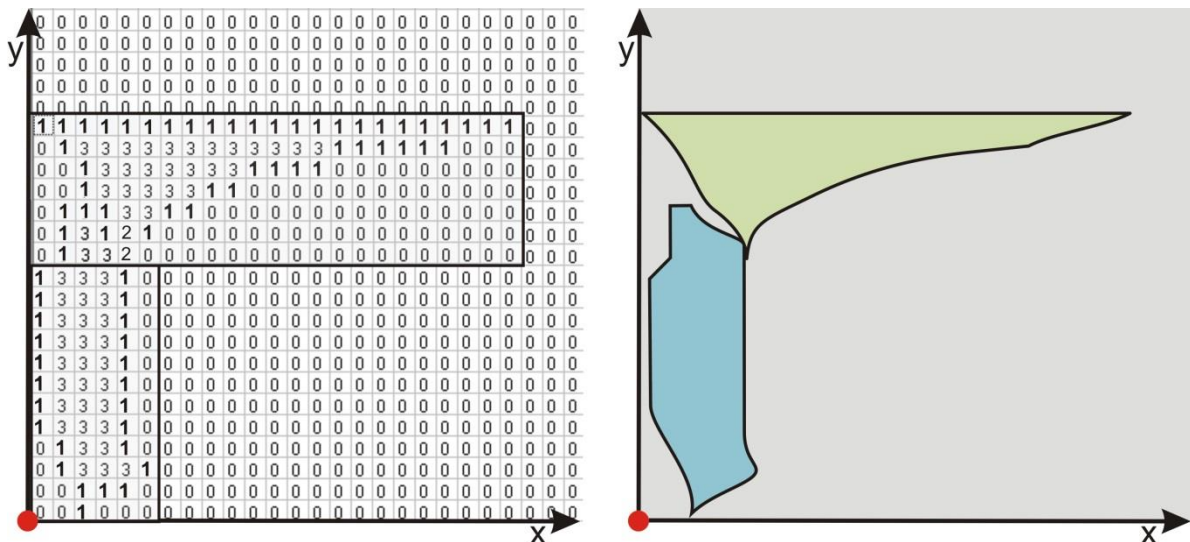


Figura 7 - Após novo deslocamento do molde no eixo Y o molde encontra um local disponível

Caso o molde percorra todo o eixo Y da primeira coluna do *grid* e não encontre espaço vazio, é incrementado um *grid* no eixo X. Assim, o molde retorna para o canto inferior esquerdo

deslocado um *grid* para a direita. Esse processo é contínuo até a inserção de todos os moldes no tecido.

3.3.1 Pseudocódigo

Nesta seção apresenta-se, no Quadro 1, o pseudocódigo do algoritmo de corte.

Quadro 1 - Pseudocódigo do algoritmo de corte

Algoritmo Corte
<p>Entrada: Largura_tecido, Comprimento_tecido, Largura_molde, Comprimento_molde, Deslocamento_eixoY, Deslocamento_eixoX, Deslocamento_grid1, Valor_grid_tecido, Valor_grid_molde</p> <p>1: //Criar <i>StringGrid</i> para o tecido com dados fornecidos pelo usuário e definir que todos os <i>grids</i> contenham o número 0. 2: Comprimento_tecido := valor definido pelo usuário; 3: Largura_tecido := valor definido pelo usuário; 4: Valor_grid_tecido := 0; 5: while not fim do begin 6: Percorrer todos os <i>grids</i> do tecido com o molde sobreposto 7: for cada <i>grid</i> do begin 8: //Verificar o número do <i>grid</i>; 9: if (Valor_grid_tecido + Valor_grid_molde = 0) or (Valor_grid_tecido + 10: Valor_grid_molde = 1) or (Valor_grid_tecido + Valor_grid_molde = 2) then 11: begin; 12: Verificar o próximo <i>grid</i> no eixo Y; 13: if (Valor_grid_tecido + Valor_grid_molde = 4) or (Valor_grid_tecido + Valor_grid_molde = 14: 6) then begin; 15: Passar para o <i>grid</i> acima do <i>grid</i> com valor 1 do tecido; 16: end; 17: if Largura_tecido <= 0 then 18: begin 19: Incrementar o valor do Deslocamento_eixoX; 20: end; 21: end; 22: end; 23: //Após não ter mais nenhuma situação de sobreposição de moldes o valor dos <i>grids</i> do molde são passados para os <i>grid</i> do tecido 24: Valor_grid_tecido := Valor_grid_molde; 25: // O processo se repete até todas as peças serem inseridas 26: // Avaliar corte 27: // Executar a inserção dos moldes no tecido com todos os ordenamentos 28: //Retornar como solução final o corte com melhor eficiência 29: end;</p>

4. Resultados

O algoritmo heurístico para o problema do corte de peças irregulares descrito na seção 3 foi implementado na linguagem Delphi. Com o intuito de comparar a técnica utilizada no software Riscare com o trabalho de outros autores, foram selecionados 8 problemas de corte considerados *benchmarks* da literatura e encontrados em alguns dos artigos pesquisados.

Foram selecionados alguns problemas como o *tangram*, que não são moldes da indústria do vestuário, porém são compostos de peças com formatos irregulares. Para a realização dos cortes no Riscare foi utilizado um computador com processador Intel® Core™2 Duo T6600 (2.2 GHz, 2 MB L2 cache, 800 MHz FSB), com memória RAM de 3GB e disco rígido de 500GB.

A Tabela 1 apresenta um comparativo dos cortes realizados no Riscare com os resultados apresentados nos problemas *benchmarks* da literatura e mostra o nome do problema, o tipo, a quantidade de peças envolvidas, as possibilidades de rotação e as eficiências obtidas por diferentes autores e pelo algoritmo proposto implementado no Riscare.

Tabela 1 - Problemas realizados no Riscare comparados com *benchmarks* da literatura

Problema				Eficiência (%)					
Nome	Tipo	Nº peças	Rotações	2DNest	Two-stage packing	Polígono no-fit com arco e linha	ELS	GCS	Algoritmo proposto
				Egeblad <i>et al.</i> (2007)	Wong <i>et al.</i> (2009)	Burke <i>et al.</i> (2010)	Leung <i>et al.</i> (2012)	Elkeran (2013)	
Fu	Artificial	12	90°	90,93	-----	90,2	90,0	90,68	84,13
Shirt	Têxtil	16	0°	-----	72,51	-----	-----	-----	83,35
Shirt	Têxtil	32	0°	-----	75,63	-----	-----	-----	80,64
Swim ¹	Têxtil	12	0°	-----	58,81	-----	-----	-----	67,60
Swim ²	Têxtil	48	0°	-----	56,62	-----	-----	-----	70,88
Swim ³	Têxtil	48	180°	70,27	-----	68,1	74,10	74,49	66,61
Tangram	Artificial	7	90°	-----	-----	-----	-----	-----	Solução ótima
Trousers	Têxtil	64	180	89,29	-----	88,9	88,29	89,02	88,12

¹ e ² Problemas com o mesmo formato dos moldes, apresentados apenas em Wong *et al.* (2009)

³ Problema com moldes diferentes do apresentado em Wong *et al.* (2009).

Na Tabela 1 utilizou-se a média das eficiências obtidas por cada algoritmo. Para os trabalhos em que essa informação não estava disponível, foi calculada a média das eficiências a partir da média do comprimento, do melhor comprimento e da melhor eficiência alcançada. Ressalta-se em negrito o algoritmo que obteve a melhor média de eficiência para cada um dos problemas. Através da visualização da Tabela 1, é possível perceber que, dentre os oito problemas apresentados, o Riscare alcançou, em quatro deles, comprimentos menores e com

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

melhores rendimentos e em um obteve a solução ótima. Apesar do algoritmo proposto não ter encontrado melhores soluções para todos os problemas, é possível perceber que a eficiência da solução de corte desenvolvida não se encontra tão distante da melhor solução encontrada.

A Tabela 2 mostra os mesmos problemas apresentados na Tabela 1, porém os resultados obtidos pelos diferentes autores são apresentados através do comprimento alcançado. Ainda na Tabela 2 é informada a Largura para cada um dos problemas.

Tabela 2 - Problemas realizados no Riscare comparados com *benchmarks* da literatura

Problema					Comprimento					
Nome	Tipo	Nº peças	Rotações	Largura	2DNest Egeblad <i>et al.</i> (2007)	Two-stage packing Wong <i>et al.</i> (2009)	Polígono no-fit com arco e linha Burke <i>et al.</i> (2010)	ELS Leung <i>et al.</i> (2012)	GCS Elkeran (2013)	Algoritmo proposto
Fu	Artificial	12	90°	38 un.	NI	-----	32,33 un.	NI	NI	32,96 un.
Shirt	Têxtil	16	0°	200 cm	-----	217,27 cm	-----	-----	-----	189 cm
Shirt	Têxtil	32	0°	200 cm	-----	433 cm	-----	-----	-----	408 cm
Swim ¹	Têxtil	12	0°	200 cm	-----	60,5 cm	-----	-----	-----	59 cm
Swim ²	Têxtil	48	0°	200 cm	-----	270,24 cm	-----	-----	-----	227 cm
Swim ³	Têxtil	48	180°	5752 un.	NI	-----	6.566,58 un.	NI	NI	6.635,50 un.
Tangram	Artificial	7	90°	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Trousers	Têxtil	64	180	79	NI	-----	245,28 un.	NI	NI	247,14 un.

NI = Não informado.

Pode-se observar na Tabela 1 e na Tabela 2 que alguns problemas, como o Swim², obtiveram rendimentos muito superiores aos publicados na literatura. Isso demonstra não só a qualidade da técnica proposta, mas também uma contribuição para as pesquisas sobre o problema. A Figura 8 apresenta a distribuição dos moldes para o problema Swim² na interface do software Riscare.

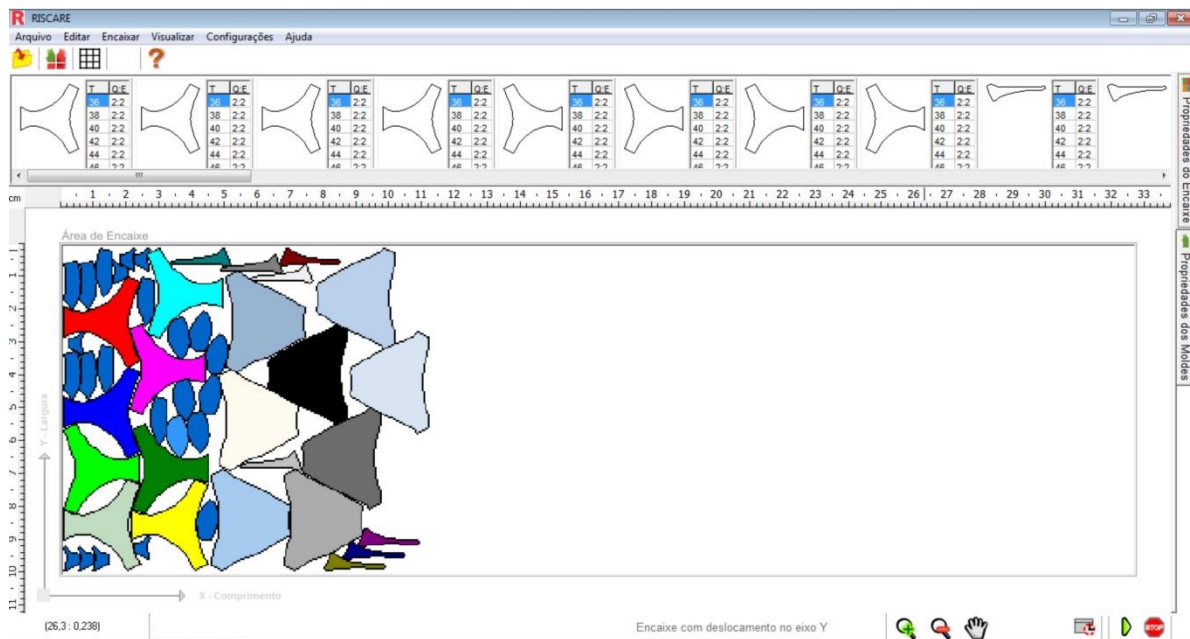


Figura 8 - Interface do software Riscare com os moldes do problema Swim²

Através da análise das soluções geradas, foi possível detectar que o critério de ordenar as sete maiores peças foi empregado para a construção da distribuição dos moldes em todas as soluções finais. Este procedimento foi o que encontrou as melhores soluções para os problemas realizados, com o menor comprimento dentre todas as sequências realizadas pelo Riscare e, por este motivo, escolhido pelo programa como solução final. Isso demonstra que o critério de ordenar as sete maiores peças alcançou soluções melhores do que as geradas pelos outros critérios.

A pesquisa apresentada está tendo continuidade e o foco é a melhoria da eficiência do algoritmo com tempo de processamento computacional razoável. Também se busca implementar a possibilidade de cortar os moldes em tecidos listrados, de modo que as listras apresentem continuidade após a peça ser confeccionada, problema comum na indústria do vestuário.

5. Conclusões

Com a apresentação dos resultados obtidos pelo Riscare foi possível comprovar que a técnica proposta e, conseqüentemente, o software obtêm bons resultados. Os resultados positivos com cortes mais otimizados obtidos pelo Riscare comprovam que a metodologia utilizada neste trabalho possibilitou o desenvolvimento de uma técnica direcionada para o problema específico do corte dos moldes da indústria do vestuário.

Foi proposta uma técnica relevante e inédita na literatura para a realização do corte, a implementação da técnica 80/20 para o problema do corte de itens irregulares. Este critério foi o procedimento utilizado em todos os cortes mais otimizados encontrados no Riscare.

Através da técnica proposta implementada no Riscare, foi possível construir um *software* que utilizou procedimentos já conhecidos no meio acadêmico e sugeriu uma nova técnica para o problema do corte bidimensional de itens irregulares, obtendo bons resultados.

Assim, o trabalho desenvolvido vem contribuindo para a área acadêmica e também colabora para a resolução de um problema real de aplicação prática com o qual a maioria das empresas de confecção precisa lidar.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de mestrado concedida à Autora durante o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Referências

- Alves, A. S.; Aymone, J. L. F. (2013). Representação gráfica de moldes em um software para o design do vestuário. In: X International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design, 2013, Florianópolis. Anais do X International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design, Florianópolis.
- Baldacci, R.; Boschetti, M. A.; Ganovelli, M.; Maniezzo, V. (2014). Algorithms for nesting with defects. *Discrete Applied Mathematics*, 163, p. 17-33.
- Bennell, J. A. & Oliveira, J. F. (2008). The geometry of nesting problems: a tutorial. *European Journal of Operational Research*, 184, 397-415.
- Bennell, J. A. & Oliveira, J. F. (2009). A tutorial in irregular shape packing problems. *Journal of the Operational Research Society*, 60, 93-105.
- Burke, E. K., Hellier, R., Kendall, G. & Whitwell G. (2006). A New Bottom-Left-Fill Heuristic Algorithm for the Two-Dimensional Irregular Packing Problem. *Operations Research*, 54, 587-601.
- Burke, E. K., Hellier, R., Kendall, G. & Whitwell G. (2010). Irregular Packing Using the Line and Arc No-Fit Polygon, 58, 948 - 970.
- Dowland, K. A. & Dowland, W. B. (1995). Solution approaches to irregular nesting problems. *European Journal of Operational Research*, 84, 506-521.
- Egeblad, J., Nielsen, B. K. & Odgaard, A. (2007). Fast neighborhood search for two- and three-dimensional nesting problems, 183, 1249- 1266.
- Elkeran, A. (2013). A new approach for sheet nesting problem using guided cuckoo search and pairwise clustering. *European Journal of Operational Research*, 231, p. 757-769.

- Gomes, A. M. & Oliveira, J. F. (2006). Solving Irregular Strip Packing problems by hybridising simulated annealing and linear programming. *European Journal of Operational Research*, 171, 811-829.
- Hopper, E. (2000). Two dimensional packing utilising evolutionary algorithms and other meta-heuristic methods. Ph.D. thesis, University of Wales.
- Juran, J.M. (1951). *Quality Control Handbook*. McGraw-Hill, New York.
- Leung, S. C. H., Lin, Y. & Zhang, D. (2012). Extend local search algorithm based on nonlinear programming for two-dimensional irregular strip packing problem, 39, 678- 686.
- Nielsen, B. K.; Odgaard, A. (2003). Fast Neighborhood Search for the Nesting Problem. Technical Report. University of Copenhagen, Copenhagen.
- Wäscher, G., Haussner, H. & Schumann, H. (2007). An Improved Typology of Cutting and Packing Problems. *European Journal of Operational Research*, 183, 1109- 1130.
- Wong, W. K., Wang, W. W., Mok, P. Y., Leung, P. Y. S. & Kwong, C. K. (2009). Solving the two-dimensional irregular objects allocation problems by using a two-stage packing approach. *Expert Systems with Applications*, 36, 3489-3496.