



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Andressa Schneider Alves

ALGORITMOS PARA O ENCAIXE DE MOLDES COM FORMATO
IRREGULAR EM TECIDOS LISTRADOS

PORTO ALEGRE

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Andressa Schneider Alves

**ALGORITMOS PARA O ENCAIXE DE MOLDES COM FORMATO
IRREGULAR EM TECIDOS LISTRADOS**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a obtenção do Grau de Doutora em Design.
Orientador: Prof. Dr. José Luís Farinatti Aymone

PORTO ALEGRE

2016

CIP - Catalogação na Publicação

Schneider Alves, Andressa

Algoritmos para o encaixe de moldes com formato irregular em tecidos listrados / Andressa Schneider Alves. -- 2016.

267 f.

Orientador: José Luís Farinatti Aymone.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. Encaixe. 2. Tecido listrado. 3. Vestuário. 4. Moda. 5. Metropolis-Hastings. I. Farinatti Aymone, José Luís, orient. II. Título.

ALGORITMOS PARA O ENCAIXE DE MOLDES COM FORMATO IRREGULAR EM TECIDOS LISTRADOS

Tese de Doutorado julgada e aprovada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Design pelo Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Luís Farinatti Aymone (Orientador)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dra. Branca Freitas de Oliveira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Michel Anzanello
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dra. Isabel Cristina Italiano
Universidade de São Paulo

Porto Alegre, 2016

AGRADECIMENTOS

À minha família agradeço pelo apoio e amor. Em especial, ao meu marido Marcell Felix de Freitas, pelo constante incentivo, pelas palavras nos momentos de dúvida e pelo companheirismo. A minha mãe Rosângela Schneider Alves, pelo carinho e otimismo. Ao meu pai Rubem Alves Junior, pela ajuda em alguns momentos difíceis da programação do software. Ao meu tio Felipe Schneider Costa, pelas contribuições.

Às minhas amigas agradeço pelos momentos de descontração e por tornarem este trabalho mais fácil. Em especial, a minha amiga Geannine Martins, por muitas vezes comprar o meu almoço, quando eu não tinha tempo para fazer isso.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Design, pelos ensinamentos e pela oportunidade de desenvolver este trabalho. Sobretudo ao meu orientador, professor Dr. José Luís Farinatti Aymone, por acreditar na minha capacidade, pelo incentivo, paciência, orientação e pelas correções precisas. Obrigada à banca de qualificação do projeto de tese, professores Branca, Michel e Fábio. As contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento desta tese.

Agradeço também o Instituto Federal de Santa Catarina por ter me concedido afastamento integral das minhas atividades nos dois últimos anos deste trabalho. Tenho certeza que sem o afastamento não teria conseguido desenvolver este trabalho no tempo previsto.

RESUMO

Esta tese tem como objetivo principal a proposição de solução para o problema do encaixe de moldes em tecidos listrados da indústria do vestuário. Os moldes são peças com formato irregular que devem ser dispostos sobre a matéria-prima, neste caso o tecido, para a etapa posterior de corte. No problema específico do encaixe em tecidos listrados, o local em que os moldes são posicionados no tecido deve garantir que, após a confecção da peça, as listras apresentem continuidade. Assim, a fundamentação teórica do trabalho abrange temas relacionados à moda e ao design do vestuário, como os tipos e padronagens de tecidos listrados, e as possibilidades de rotação e colocação dos moldes sobre tecidos listrados. Na fundamentação teórica também são abordados temas da pesquisa em otimização combinatória como: características dos problemas bidimensionais de corte e encaixe e algoritmos utilizados por diversos autores para solucionar o problema. Ainda na parte final da fundamentação teórica são descritos o método Cadeia de Markov Monte Carlo e o algoritmo de Metropolis-Hastings. Com base na pesquisa bibliográfica, foram propostos dois algoritmos distintos para lidar com o problema de encaixe de moldes em tecidos listrados: algoritmo com pré-processamento e algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings. Ambos foram implementados no software Riscare Listrado, que é uma continuação do software Riscare para tecidos lisos desenvolvido em Alves (2010). Para testar o desempenho dos dois algoritmos foram utilizados seis problemas benchmarks da literatura e proposto um novo problema denominado de camisa masculina. Os problemas benchmarks da literatura foram propostos para matéria-prima lisa e o problema camisa masculina especificamente para tecidos listrados. Entre os dois algoritmos desenvolvidos, o algoritmo de busca do melhor encaixe apresentou resultados com melhores eficiências de utilização do tecido para todos os problemas propostos. Quando comparado aos melhores resultados publicados na literatura para matéria-prima lisa, o algoritmo de busca do melhor encaixe apresentou encaixes com eficiências inferiores, porém com resultados superiores ao recomendado pela literatura específica da área de moda para tecidos estampados.

Palavras – chave: Encaixe; Tecido listrado; Vestuário; Moda; Monte Carlo; Metropolis-Hastings.

ABSTRACT

This thesis proposes the solution for the packing problem of patterns on striped fabric in clothing industry. The patterns are pieces with irregular form that should be placed on raw material which is, in this case, the fabric. This fabric is cut after packing. In the specific problem of packing on striped fabric, the position that patterns are put in the fabric should ensure that, after the clothing sewing, the stripes should present continuity. Thus, the theoretical foundation of this project includes subjects about fashion and clothing design, such as types and *rappports* of striped fabric, and the possibilities of rotation and the correct place to put the patterns on striped fabric. In the theoretical foundation, there are also subjects about research in combinatorial optimization as: characteristics about bi-dimensional packing and cutting problems and algorithms used for several authors to solve the problem. In addition, the Markov Chain Monte Carlo method and the Metropolis-Hastings algorithm are described at end of theoretical foundation. Based on the bibliographic research, two different algorithms for the packing problem with striped fabric are proposed: algorithm with pre-processing step and algorithm of searching the best packing using the Metropolis-Hastings algorithm. Both algorithms are implemented in the Striped Riscare software, which is a continuity of Riscare software for clear fabrics developed in the Masters degree of the author. Both algorithms performances are tested with six literature benchmark problems and a new problem called “male shirt” is proposed here. The benchmark problems of literature were initially proposed for clear raw material and the male shirt problem, specifically for striped fabrics. Between the two developed algorithms, the algorithm of searching the best packing has shown better results with better efficiencies of the fabric usage for all the problems tested. When compared to the best results published in the literature for clear raw material, the algorithm of searching the best packing has shown packings with lower efficiencies. However, it showed results higher than recommended for the specific literature of fashion design for patterned fabrics.

Keywords: Packing; Striped fabric; Clothing; Fashion; Monte Carlo; Metropolis-Hastings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processos de fabricação de tecidos listrados	38
Figura 2 – Tecido plano listrado.....	39
Figura 3 – Malha por trama circular.....	40
Figura 4 – Módulos e padronagens com diferentes larguras de listras.....	42
Figura 5 – Módulos e padronagens com diferentes larguras e cores.....	42
Figura 6 – Módulos e padronagens	43
Figura 7 – Disposição dos moldes de uma blusa em tecido listrado horizontal simétrico	44
Figura 8 – Moldes dispostos sobre o tecido sem e com rotação de 180°	45
Figura 9 – Encaixe do molde da frente de uma blusa em tecido listrado horizontal simétrico	45
Figura 10 – Encaixe do molde da frente de uma blusa em tecido listrado horizontal assimétrico.....	46
Figura 11 – Moldes sobre tecido listrado horizontal simétrico	47
Figura 12 – Moldes sobre tecido listrado vertical simétrico	48
Figura 13 – Polígono <i>no-fit</i> de A e B	53
Figura 14 – Etapas para a construção do polígono <i>no-fit</i> de A e B.....	54
Figura 15 – Molde representado pelo método <i>raster</i>	55
Figura 16 – Tentativa de encaixe de duas peças pelo método <i>raster</i>	56
Figura 17 – Topologia de espaço de estados	58
Figura 18 – Sequência inicial e movimentos de troca, inserção e rotação	60
Figura 19 – Leiaute inicial e movimentos de troca, inserção e rotação.....	62
Figura 20 – Exemplos do polígono <i>no-fit</i> e do retângulo <i>inner-fit</i>	63
Figura 21 – Exemplo de compactação.....	64
Figura 22 – Exemplo de separação.....	65
Figura 23 – Exemplo da estrutura de vizinhos	66
Figura 24 – Principais técnicas e sequência utilizada nos algoritmos GLSHA e SAHA.....	68
Figura 25 – Exemplo de iterações em uma busca local.....	69
Figura 26 – Principais técnicas e sequência utilizada no algoritmo 2DNest.....	70
Figura 27 – Resolução da intersecção de arestas pelo deslocamento vertical.....	72
Figura 28 – Técnicas e sequência empregada no algoritmo <i>bottom-left-fill</i>	74

Figura 29 – Resolução de sobreposição de formas com o polígono <i>no-fit</i>	75
Figura 30 – Sequência de técnicas empregadas no algoritmo <i>two-stage packing</i>	78
Figura 31 – Ilustração do <i>MovePolygon</i>	80
Figura 32 – Sequência das técnicas empregadas no algoritmo ELS	81
Figura 33 – Combinação das características formais de pares de peças	82
Figura 34 – Critérios para avaliar a eficiência do agrupamento de pares de peças	82
Figura 35 – Sequência de etapas do algoritmo <i>Cuckoo Search</i>	83
Figura 36 – Sequência das técnicas empregadas no algoritmo <i>Cuckoo search</i>	85
Figura 37 – Exemplo dos <i>grids</i> usados dentro do retângulo envolvente.....	87
Figura 38 – <i>Grids</i> não usados na colocação <i>top-left</i>	88
Figura 39 – Técnicas utilizadas por Baldacci <i>et al.</i> (2014)	90
Figura 40 – Localização inicial da peça sobre o tecido	92
Figura 41 – Detecção de sobreposição entre duas peças	93
Figura 42 – Primeiro deslocamento do molde e detecção de sobreposição entre as duas peças	94
Figura 43 – Segundo deslocamento da peça.....	94
Figura 44 – Probabilidades de usar uma determinada roupa.....	103
Figura 45 – Fluxograma inicial para proposta do algoritmo de encaixe com etapa de pré-processamento	113
Figura 46 – Simulação manual da proposta inicial do algoritmo de encaixe com pré-processamento	114
Figura 47 – Camisa Ermenegildo Zegna fabricada em tecido listrado.....	121
Figura 48 – Camisa Polo Ralph Lauren fabricada em tecido listrado	122
Figura 49 – Suéter Vince em tecido listrado	123
Figura 50 – Bermuda Stella McCartney confeccionada em tecido listrado	124
Figura 51 – Saia Chinti and Parker em tecido listrado	124
Figura 52 – Blazer Lanvin em tecido listrado	125
Figura 53 – Representação gráfica do molde de um modelo de biquíni através do método <i>raster</i>	126
Figura 54 – Representação gráfica de um tecido liso	127
Figura 55 – Representação gráfica de um molde com conteúdos numéricos e cor.....	128
Figura 56 – Representação gráfica de um molde com a localização do ponto de coincidência diferente do início do módulo da listra.....	129

Figura 57 – Localização do molde sobre tecido quando o <i>grid</i> de coincidência é diferente do início do módulo.....	129
Figura 58 – Localização do molde sobre tecido quando o <i>grid</i> de coincidência está no mesmo local do início do módulo	130
Figura 59 – Construção do molde com rotação de 180°	131
Figura 60 – Molde com rotação de 0° e molde com rotação de 180° em tecido listrado	132
Figura 61 – Módulos com valores para o início do módulo.....	133
Figura 62 – Representação da localização do módulo nos moldes	134
Figura 63 – Medidas de largura e comprimento do molde.....	134
Figura 64 – Início do molde coincide com o início do módulo, assim como o final do molde que está na mesma posição do final do módulo	135
Figura 65 – Início do molde coincide com o início do módulo, mas o final do molde não se encontra na mesma posição do final do módulo	136
Figura 66 – Localização dos moldes sobre o módulo	136
Figura 67 – Situação 1 para cálculo da nova localização do módulo no molde.....	137
Figura 68 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com o cálculo da situação 1	139
Figura 69 – Situação 2 para cálculo da nova localização do módulo no molde com $Lm = 20$	139
Figura 70 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com $Lm = 20$ e $NLm = 10$	140
Figura 71 – Situação 2 para cálculo da nova localização do módulo no molde com $Lm = 4$	140
Figura 72 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com $Lm = 4$ e $NLm = 6$.	141
Figura 73 – Situação 2 para cálculo da nova localização do módulo no molde com $Lm = 10$	141
Figura 74 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com $Lm = 10$ e $NLm = 20$	142
Figura 75 – Situação 2 para cálculo da nova localização do módulo no molde com $Lm = 11$	142
Figura 76 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com $Lm = 11$ e $NLm = 19$	143

Figura 77 – Situação 1 para cálculo da nova localização do módulo no molde com $Lm = 12$	144
Figura 78 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com o cálculo da situação 1	144
Figura 79 – Situação 2 para cálculo da nova localização do módulo no molde com $Lm = 12$	145
Figura 80 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com o cálculo da situação 2	146
Figura 81 – Situação 3 para cálculo da nova localização do módulo no molde com $Lm = 2$	146
Figura 82 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com o cálculo da situação 3	147
Figura 83 – Módulos diferentes para listra unidimensional	147
Figura 84 – Representação esquemática da localização do Molde Pf	151
Figura 85 – Encaixe do molde Pf na etapa de pré-processamento	152
Figura 86 – Primeiro local de inserção do molde Pm na etapa de pré-processamento	153
Figura 87 – Segundo local de inserção do molde da Pm no eixo y na posição 0 do eixo x	154
Figura 88 – Terceiro local de inserção do molde Pm no eixo y na posição 0 do eixo x	155
Figura 89 – Quarto local de inserção do molde da Pm no eixo y na posição 0 do eixo x	155
Figura 90 – Quinto local de inserção do molde da Pm no eixo y na posição 0 do eixo x	155
Figura 91 – Sexto local de inserção do molde da Pm no eixo y na posição 0 do eixo x	156
Figura 92 – Deslocamento do molde Pm no eixo x na etapa de pré-processamento....	156
Figura 93 – Última posição do molde Pm no eixo x e y na etapa de pré-processamento	157
Figura 94 – Emparelhamento das listras para tecido com listras paralelas ao comprimento.....	158
Figura 95 – Emparelhamento das listras para tecido com listras paralelas à largura ...	159
Figura 96 – Registro de informações em arquivo no software Excel.....	161
Figura 97 – Retângulo envolvente de dois moldes.....	162

Figura 98 – Polígono envolvente de dois moldes.....	163
Figura 99 – Simulação do ordenamento 1	165
Figura 100 – Simulação da inserção do primeiro e do segundo molde no tecido	166
Figura 101 – Simulação da inserção do terceiro molde no tecido.....	166
Figura 102 – Simulação da inserção do quarto molde no tecido pelo ordenamento 2.	167
Figura 103 – Simulação da inserção do molde que atinge a parte superior do tecido..	167
Figura 104 – Simulação da inserção do molde pelo ordenamento 3	168
Figura 105 – Moldes com indicação do ordenamento utilizado para sua colocação ...	168
Figura 106 – Inserção de molde do grupo dos menores moldes	169
Figura 107 – Exemplo da construção da amostra Z a partir da amostra X_t	173
Figura 108 – Exemplo de execução com <i>Burn-in</i> = 50 e Iterações = 200.....	176
Figura 109 – Exemplo de execução com <i>Burn-in</i> = 500 e Iterações = 2.000.....	177
Figura 110 – Exemplo de execução com <i>Burn-in</i> = 1.000 e Iterações = 4.000.....	178
Figura 111 - Zonas funcionais da interface do software Riscare	183
Figura 112 - Interface software Riscare Listrado	184
Figura 113 - Interface Riscare Listrado com destaque para o Ícone Abrir e o Menu de Moldes	185
Figura 114 - Ícone Encaixe em tecido listrado	185
Figura 115 - Caixa de diálogo Padrão do tecido listrado	186
Figura 116 - Ícone Estrutura interna.....	186
Figura 117 - Caixa de diálogo Estrutura Interna	187
Figura 118 - Aba Pré-processamento aberta antes e depois da execução da etapa de pré-processamento	188
Figura 119 - Aba Dados pré-processamento da Barra de Propriedades	189
Figura 120 - Caixa de diálogo Estrutura Interna com a aba Importar Dados	189
Figura 121 - Caixa de diálogo Estrutura Interna com a aba Área de Encaixe.....	190
Figura 122 - Interface Riscare Listrado com encaixe final	191
Figura 123 - Caixa de diálogo Padrão do tecido listrado	192
Figura 124 - Caixa de diálogo Estrutura Interna com a aba Área de Encaixe.....	193
Figura 125 - Interface do software Riscare Listrado com encaixe final.....	194
Figura 126 - Encaixe problema Albano com algoritmo com pré-processamento para listra horizontal	197

Figura 127 - Encaixe problema Dagli com algoritmo com pré-processamento para listra vertical	197
Figura 128 - Encaixe problema Mao com algoritmo com pré-processamento para listra horizontal.....	198
Figura 129 - Encaixe problema Marques com algoritmo com pré-processamento para listra horizontal.....	198
Figura 130 - Encaixe problema <i>Shirts</i> com algoritmo com pré-processamento para listra horizontal.....	199
Figura 131 - Encaixe problema <i>Trousers</i> com algoritmo com pré-processamento para listra horizontal.....	199
Figura 132 - Encaixe problema Camisa masculina com algoritmo com pré-processamento para listra vertical.....	200
Figura 133 – Encaixe no Riscare Listrado do problema Albano para módulo com listra vertical e uma única largura de listra.....	204
Figura 134 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 50 e Iterações = 200 para o problema Albano com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	204
Figura 135 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 500 e Iterações = 2.000 para o problema Albano com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	205
Figura 136 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 1.000 e Iterações = 4.000 para o problema Albano com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	206
Figura 137 – Encaixe no Riscare Listrado do problema Dagli para módulo com listra vertical e uma única largura de listra	207
Figura 138 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 50 e Iterações = 200 para o problema Dagli com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	207
Figura 139 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 500 e Iterações = 2.000 para o problema Dagli com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	208

Figura 140 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 1.000 e Iterações = 4.000 para o problema Dagli com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	208
Figura 141 – Encaixe no Riscare Listrado do problema Mao para módulo com listra vertical e uma única largura de listra.....	209
Figura 142 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 50 e Iterações = 200 para o problema Mao com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	209
Figura 143 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 500 e Iterações = 2.000 para o problema Mao com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	210
Figura 144 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 1.000 e Iterações = 4.000 para o problema Mao com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	210
Figura 145 – Encaixe no Riscare Listrado do problema Marques para módulo com listra vertical e uma única largura de listra.....	211
Figura 146 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 50 e Iterações = 200 para o problema Marques com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	211
Figura 147 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 500 e Iterações = 2.000 para o problema Marques com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	212
Figura 148 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 1.000 e Iterações = 4.000 para o problema Marques com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	212
Figura 149 – Encaixe no Riscare Listrado do problema <i>Shirts</i> para módulo com listra vertical e uma única largura de listra.....	213
Figura 150 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 50 e Iterações = 200 para o problema <i>Shirts</i> com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	213
Figura 151 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 500 e Iterações = 2.000 para o problema <i>Shirts</i> com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	214

Figura 152 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 1.000 e Iterações = 4.000 para o problema <i>Shirts</i> com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	214
Figura 153 – Encaixe no Riscare Listrado do problema <i>Trousers</i> para módulo com listra vertical e uma única largura de listra.....	215
Figura 154 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 50 e Iterações = 200 para o problema <i>Trousers</i> com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	215
Figura 155 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 500 e Iterações = 2.000 para o problema <i>Trousers</i> com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	216
Figura 156 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 1.000 e Iterações = 4.000 para o problema <i>Trousers</i> com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	216
Figura 157 – Encaixe no Riscare Listrado do problema Camisa masculina para módulo com listra vertical e uma única largura de listra.....	217
Figura 158 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 50 e Iterações = 200 para o problema Camisa masculina com módulo com listra vertical e uma única largura de listra.....	217
Figura 159 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 500 e Iterações = 2.000 para o problema Camisa masculina com módulo com listra vertical e uma única largura de listra.....	218
Figura 160 – Gráfico do valor de eficiência média das fases <i>Burn-in</i> = 1.000 e Iterações = 4.000 para o problema Camisa masculina com módulo com listra vertical e uma única largura de listra	218
Figura 161 – Encaixe problema Albano para módulo com listra horizontal e uma única largura de listra	219
Figura 162 – Encaixe problema Dagli para módulo com listra horizontal e uma única largura de listra.....	219
Figura 163 – Encaixe problema Mao para módulo com listra horizontal e uma única largura de listra.....	220
Figura 164 – Encaixe problema Marques para módulo com listra horizontal e uma única largura de listra.....	220

Figura 165 – Encaixe problema <i>Shirts</i> para módulo com listra horizontal e uma única largura de listra.....	221
Figura 166 – Encaixe problema <i>Trousers</i> para módulo com listra horizontal e uma única largura de listra.....	221
Figura 167 – Encaixe problema Albano para módulo com listra vertical e diferentes larguras de listra.....	222
Figura 168 – Encaixe problema Dagli para módulo com listra vertical e diferentes larguras de listra.....	222
Figura 169 – Encaixe problema Mao para módulo com listra vertical e diferentes larguras de listra.....	223
Figura 170 – Encaixe problema Marques para módulo com listra vertical e diferentes larguras de listra.....	223
Figura 171 – Encaixe problema <i>Shirts</i> para módulo com listra vertical e diferentes larguras de listra.....	224
Figura 172 – Encaixe problema <i>Trousers</i> para módulo com listra vertical e diferentes larguras de listra.....	224
Figura 173 – Encaixe problema Camisa masculina para módulo com listra vertical e diferentes larguras de listra.....	225
Figura 174 – Encaixe problema Albano para módulo com listra horizontal e diferentes larguras de listra.....	225
Figura 175 – Encaixe problema Dagli para módulo com listra horizontal e diferentes larguras de listra.....	226
Figura 176 – Encaixe problema Mao para módulo com listra horizontal e diferentes larguras de listra.....	226
Figura 177 – Encaixe problema Marques para módulo com listra horizontal e diferentes larguras de listra.....	227
Figura 178 – Encaixe problema <i>Shirts</i> para módulo com listra horizontal e diferentes larguras de listra.....	227
Figura 179 – Encaixe problema <i>Trousers</i> para módulo com listra horizontal e diferentes larguras de listra.....	228
Figura 180 - Gráfico com percentual de eficiências por grupo de valores das fases de <i>Burn-in</i> e Iterações.....	232
Figura 181 - Desenho dos moldes da camisa masculina	267

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Eficiências obtidas para problemas de encaixe bidimensional de formas irregulares	96
Quadro 2 – Síntese dos trabalhos publicados sobre encaixe bidimensional de formas irregulares	98
Quadro 3 – Algoritmo de Metropolis-Hastings	107
Quadro 4 – Algoritmo de encaixe com pré-processamento	170
Quadro 5 – Algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando Metropolis-Hastings ..	182

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos problemas benchmarks da indústria do vestuário.....	117
Tabela 2 – Fator de escala aplicado para os problemas benchmarks	117
Tabela 3 – Característica do problema camisa masculina.....	118
Tabela 4 – Encaixes realizados no Riscare Listrado utilizando o algoritmo com pré-processamento	196
Tabela 5 – Encaixes realizados no Riscare Listrado utilizando o algoritmo de busca do melhor encaixe para módulo com listra vertical de uma única largura de listra	202
Tabela 6 – Encaixes realizados no Riscare Listrado utilizando o algoritmo de busca do melhor encaixe para módulo com listra horizontal de uma única largura de listra.....	202
Tabela 7 – Encaixes realizados no Riscare Listrado utilizando o algoritmo de busca do melhor encaixe para módulo com listra vertical com diferentes larguras de listra	203
Tabela 8 – Encaixes realizados no Riscare Listrado utilizando o algoritmo de busca do melhor encaixe para módulo com listra horizontal com diferentes larguras de listra..	203
Tabela 9 – Melhores eficiências obtidas pelos dois algoritmos apresentados.....	229
Tabela 10 – Comparação entre as eficiências obtidas com o algoritmo de busca do melhor encaixe e as eficiências publicadas na literatura	230
Tabela 11 – Melhores eficiências obtidas para os diferentes tipos de módulo de listra.....	231
Tabela 12 – Diferença das eficiências e tempos obtidos para módulo vertical com uma única largura de listra	233
Tabela 13 – Diferença das eficiências e tempos obtidos para módulo horizontal com uma única largura de listra.....	233
Tabela 14 – Diferença das eficiências e tempos obtidos para módulo vertical com diferentes larguras de listra.....	234
Tabela 15 – Diferença das eficiências e tempos obtidos para módulo horizontal com diferentes larguras de listra.....	234
Tabela 16 – Característica do problema camisa masculina.....	257

LISTA DE SÍMBOLOS

E	Eficiência
Me	Melhor eficiência obtida
T	Tempo em segundos
\bar{f}	Média dos valores da função
n	Tamanho total de iterações
m	Tamanho da fase de <i>Burn-in</i>
$f(X_t)$	Valor da função na posição t
$\alpha(X, Y)$	Probabilidade de aceitação
$\pi(Y)$	Distribuição proposta
$\pi(X)$	Distribuição a posteriori de interesse
R	Resto
Am	Largura do molde
Tl	Tamanho do módulo da listra
Cm	Comprimento do molde
Lm	Localização do módulo no molde 0°
NLm	Nova localização do módulo no molde 180°
K	Coefficiente empírico determinado por testes
$ANLm$	Variável auxiliar para calcular o NLm
Pm	Peça móvel
Pf	Peça fixa
Lt	Largura do tecido
LPf	Largura da Peça fixa
LPm	Largura da Peça móvel

C_t	Comprimento do tecido
CP_f	Comprimento da Peça fixa
CP_m	Comprimento da Peça móvel
D_y	Deslocamento no eixo y
D_x	Deslocamento no eixo x
Q_d	Quantidade de deslocamentos para moldes com a mesma largura
T_x	Quantidade de deslocamentos do molde Peça móvel no eixo x
NDy_{pm}	Novo valor de deslocamento do molde Peça móvel da parte superior do tecido em direção ao centro
NDx_{pm}	Novo valor de deslocamento do molde Peça móvel da lateral esquerda do tecido em direção ao centro
Er	Eficiência do retângulo envolvente
Ep	Eficiência do polígono envolvente
\bar{f}_e	Valor de eficiência média
t	Iteração
X_t	Sequência de moldes
X_0	Sequência inicial de moldes
Z	Nova amostra de sequência de moldes
Md	Média das eficiências dos encaixes
Pe	Pior eficiência dos encaixes

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO - DEMARCAÇÃO DO FENÔMENO	25
1.1 Contextualização do tema	25
1.2 Delimitação do tema	30
1.3 Problema	31
1.4 Hipóteses	31
1.5 Objetivos	31
1.5.1 Objetivo Geral	31
1.5.2 Objetivos Específicos	31
1.6 Justificativa	32
1.7 Estrutura do trabalho	36
2 ENCAIXE DE MOLDES EM TECIDOS LISTRADOS	38
2.1 Tipos de tecidos listrados	38
2.2 Padronagem de tecidos listrados	41
2.3 Rotação de moldes em tecidos listrados	44
2.4 Colocação dos moldes sobre tecidos listrados	47
3 PROBLEMAS BIDIMENSIONAIS DE CORTE E ENCAIXE DE FORMAS IRREGULARES	50
3.1 Contexto histórico.....	50
3.2 Abordagens geométricas	52
3.2.1 Polígono <i>no-fit</i>	52
3.2.2 <i>Raster</i>	55
3.3 Construção de encaixes	57
3.3.1 Algoritmos de busca local.....	57
3.3.2 Busca em uma sequência	59
3.3.3 Busca em um leiaute	61
3.4 Abordagens para os problemas bidimensionais de encaixe de peças irregulares	62
3.4.1 GLSHA e SAHA	62
3.4.2 2DNest	68
3.4.3 Polígono <i>no-fit</i> com linha e arco.....	70
3.4.4 <i>Two-stage packing</i>	77
3.4.5 ELS	79

3.4.6 Algoritmo híbrido utilizando o <i>Cuckoo search</i>	81
3.4.7 Algoritmo para encaixe em tecidos com figuras complexas.....	85
3.4.8 Algoritmos para encaixe em matérias-primas com defeitos – SNH1, SNH2, SNH3 e Heurística <i>Lagrangean</i>	86
3.4.9 Riscare	90
3.4.10 Características dos métodos de solução para o problema do encaixe	95
3.5 Cadeia de Markov Monte Carlo (CMMC).....	101
3.5.1 Metropolis–Hastings.....	104
4 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	109
4.1 Classificação da Pesquisa.....	109
4.2 Etapas da Pesquisa	109
4.2.1 Colocação do problema e formulação de hipóteses	110
4.2.2 Pesquisa Bibliográfica	110
4.2.3 Pesquisa Documental.....	111
4.2.4 Desenvolvimento da proposta para o algoritmo de encaixe com etapa de pré-processamento... 112	
4.2.5 Desenvolvimento do algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o método Cadeias de Markov Monte Carlo e o algoritmo de Metropolis-Hastings.....	114
4.2.6 Software Riscare Listrado.....	115
4.2.7 Pesquisa Experimental.....	116
4.2.8 Conclusão da Pesquisa.....	119
5 ANÁLISE SISTEMÁTICA DE ROUPAS CONFECCIONADAS EM TECIDOS LISTRADOS	120
6. PROCEDIMENTOS DOS ALGORITMOS DE ENCAIXE DE MOLDES EM TECIDOS LISTRADOS	126
6.1 Representação gráfica dos moldes e do tecido	126
6.2 Rotação dos moldes em 180°	131
6.3 Identificação da localização do módulo no molde.....	132
6.3.1 Rotação de moldes em módulos com uma única largura de listra	137
6.3.2 Rotação de moldes em módulos com duas ou mais larguras de listras	143
7. ALGORITMO DE ENCAIXE COM PRÉ-PROCESSAMENTO.....	149
7.1 Etapa de pré-processamento.....	149
7.1.1 Emparelhamento das listras	157
7.1.2 Registro das informações do pré-processamento.....	160

7.1.3 Cálculo da eficiência.....	161
7.2 Etapa de construção do encaixe	163
8. ALGORITMO DE BUSCA DO MELHOR ENCAIXE UTILIZANDO O MÉTODO CADEIAS DE MARKOV MONTE CARLO E O ALGORITMO DE METROPOLIS-HASTINGS	172
8.1 Estado inicial da cadeia.....	172
8.2 Geração de amostra.....	172
8.3 Encaixe dos moldes no tecido	173
8.4 Fases de <i>Burn-in</i> e Iterações	174
8.4.1 Cálculo do valor de eficiência média e cálculo do valor esperado	175
8.4.2 Definição do tamanho das fases de <i>Burn-in</i> e Iterações	176
8.5 Algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando Metropolis-Hastings	179
9. RISCARE LISTRADO	183
9.1 Riscare Listrado e algoritmo com pré-processamento	184
9.1.1 Definição dos moldes que serão colocados no tecido	185
9.1.2 Tipo de listra e tamanho do módulo da listra	185
9.1.3 Pontos de coincidência, possibilidades de rotação e quantidade de moldes	186
9.1.4 Etapa de pré-processamento no software Riscare Listrado.....	187
9.1.5 Etapa de construção do encaixe no software Riscare Listrado	189
9.2 Riscare Listrado e algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings	191
9.2.1 Tipo de listra e tamanho do módulo da listra.....	192
10. RESULTADOS	195
10.1 Encaixe dos moldes utilizando o algoritmo com pré-processamento	195
10.2 Encaixe dos moldes usando o algoritmo de busca do melhor encaixe.....	200
10.3 Discussão dos resultados	228
11. CONCLUSÃO.....	236
11.1 Sugestões para trabalhos futuros	240
REFERÊNCIAS	242
GLOSSÁRIO	252

APÊNDICE A	257
-------------------------	------------

1 INTRODUÇÃO - DEMARCAÇÃO DO FENÔMENO

O presente capítulo apresenta a contextualização do tema de pesquisa, a delimitação do tema dentro da área estudada, a formulação do problema, as hipóteses, os objetivos, a justificativa que expõem a relevância e importância da pesquisa e ao final o conteúdo principal de cada um dos capítulos que compõem este trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A pesquisa abordada neste trabalho trata dos problemas de corte (*Cutting*) e encaixe (*Packing*), que pertencem à área de otimização combinatória¹. Nesses problemas, dois conjuntos de elementos estão envolvidos: o primeiro, formado pelas matérias-primas (também denominadas de objetos grandes) e o segundo, constituído por peças de pequena dimensão (também chamados de itens pequenos). O objetivo é a disposição das peças pequenas, da melhor maneira possível sobre a matéria-prima, sem que haja sobreposição, para posterior corte (WÄSCHER, HAUBNER e SCHUMANN, 2007).

Os problemas de corte e encaixe estão presentes no processo produtivo de diversas indústrias: confecção de vestuário, papel, móveis, sapatos e naval. A importância desses problemas está relacionada com a economia de matéria-prima, que possui impacto significativo no preço do produto final. Além do benefício econômico, a diminuição do desperdício de matéria-prima também colabora na eficiência do processo produtivo e com questões ambientais (BALDACCI *et al.*, 2014; GOMES e OLIVEIRA, 2006).

Apesar de todas as indústrias terem dificuldades semelhantes na etapa de disposição de itens sobre as matérias-primas, há também necessidades específicas de cada processo produtivo. Wäscher, Haubner e Schumann (2007) propuseram uma tipologia de classificação, baseada na tipologia apresentada por Dyckhoff (1990). O objetivo do trabalho apresentado por Wäscher, Haubner e Schumann (2007) é contribuir na classificação dos problemas, diminuir a variedade de termos utilizados para definir o mesmo problema e facilitar a comunicação entre pesquisadores do mesmo campo.

¹ Os problemas de encaixe e corte têm como objetivo maximizar a utilização ou minimizar o desperdício de matéria-prima, por este motivo são classificados como problemas de otimização (RUSSELL e NORVIG, 2004).

A tipologia de Wäscher, Haubner e Schumann (2007) classifica os problemas de corte e encaixe segundo cinco critérios: dimensionalidade, tipo de atribuição, classificação dos itens pequenos, classificação dos objetos grandes e forma dos itens pequenos.

O critério de dimensionalidade refere-se à quantidade de dimensões envolvidas no problema. Os autores citam os problemas de uma, duas e três dimensões. Problemas unidimensionais são encontrados no processo de corte de papel e tubos de metal (DOKEROGLU e COSAR, 2014). Problemas bidimensionais são comuns na etapa de corte de tecidos, chapas de madeira, chapas de metal e vidro (ELKERAN, 2013). O problema tridimensional é característico do encaixe de containers e do carregamento de caminhões (GONÇALVES e RESENDE, 2013; WÄSCHER, HAUBNER e SCHUMANN, 2007; GOMES e OLIVEIRA, 2006).

Em relação ao tipo de atribuição, Wäscher, Haubner e Schumann (2007) citam duas possibilidades: maximização de saída e minimização de entrada. Busca-se a maximização de saída quando o conjunto de objetos grandes não é suficiente para acomodar todos os itens pequenos. Já a minimização de entrada refere-se à situação contrária, o conjunto de objetos grandes é suficiente para dispor todos os itens pequenos. Ambos os termos (maximização de saída e minimização de entrada) podem ser substituídos por minimização de resíduos, ou seja, diminuição das partes não utilizadas da matéria-prima.

Os itens pequenos podem ser classificados como idênticos (mesma forma e tamanho), fracamente heterogêneos (itens idênticos, porém com diferentes orientações são tratados como distintos) e fortemente heterogêneos (poucos itens são idênticos em forma e tamanho) (WÄSCHER, HAUBNER e SCHUMANN, 2007).

Os objetos grandes referem-se a matéria-prima em que os objetos pequenos serão inseridos e podem ser classificados em dois grupos: um único objeto grande ou em vários objetos grandes. Em relação à forma dos itens pequenos, critério aplicado apenas para os problemas bidimensional e tridimensional, os itens podem ser regulares (retângulos, circunferências, esferas, caixas) e irregulares (formas com contornos convexos e não-convexos²) (WÄSCHER, HAUBNER e SCHUMANN, 2007).

² Termo utilizado por diversos autores (TOLEDO *et al.*, 2013; BENNELL e OLIVEIRA, 2009; SATO, MARTINS e TSUZUKI, 2012) para se referir a formas côncavas, ou seja, que possuem reentrâncias, concavidades.

Dentre os diversos problemas da área de corte e encaixe apresentados no trabalho de Wäscher, Haubner e Schumann (2007), a presente pesquisa situa-se na classificação denominada *Open Dimension Problem*. Nesta classe do problema, um conjunto de itens pequenos precisa ser todo alocado em um único objeto grande ou em vários objetos grandes. Em relação às dimensões dos objetos grandes, uma é fixa e outra variável. O *(Two-dimensional) Strip Packing Problems* é uma ramificação da classificação *Open Dimension Problem*, em que um conjunto bidimensional de itens pequenos tem que ser alocado em um objeto retangular grande; a largura do objeto grande é fixa, seu comprimento é variável e deve ser minimizado. No caso dos itens pequenos possuírem formato irregular³ (LEUNG, LIN e ZHANG, 2012; BENNELL e DOWSLAND, 2001; OLIVEIRA e FERREIRA, 1993) o problema é referido como *Irregular Strip Packing Problem* ou *Nesting Problem* (BALDACCI *et al.*, 2014; BENNELL e OLIVEIRA, 2009; GOMES e OLIVEIRA, 2006). Em algumas áreas específicas, como, na indústria do vestuário, o mesmo problema pode ser denominado por diferentes nomes, como *Marker-Making Problem* (BENNELL e OLIVEIRA, 2009; LI e MILENKOVIC, 1995).

Os problemas de corte e encaixe também são classificados na classe de problemas denominados de NP-difícil. O termo NP-difícil é empregado para rotular problemas que não podem ser solucionados rapidamente utilizando abordagens puramente algorítmicas. O esforço computacional para a resolução cresce exponencialmente com o tamanho do problema, de acordo com a quantidade de dados envolvidos. O conhecimento de que um problema pertence à classe NP-difícil fornece uma informação valiosa sobre que linhas de abordagem têm potencial para serem mais produtivas e que a busca por um algoritmo exato não deve ser a prioridade (GAREY e JOHNSON, 1979).

Garey e Johnson (1979) classificam os problemas de busca que procuram um valor máximo ou mínimo na classe NP-difícil. Essa dificuldade direcionou os estudos

³ Bennell e Oliveira (2009) definem uma peça com formato irregular se ela precisa de no mínimo três parâmetros para ser identificada. Para construir um círculo é preciso saber o raio (um parâmetro), para um retângulo e necessário saber o comprimento e a largura (dois parâmetros). Assim, os autores explicam que formas irregulares geralmente são polígonos simples, e que em alguns casos, podem conter buracos.

do *cutting* e do *packing* para a busca de soluções heurísticas⁴ e algoritmos de aproximação.

Um inconveniente comum dessa área de pesquisa é o fato das soluções serem obtidas através de métodos não exatos o que impossibilita o cálculo da solução ótima, ou seja, a melhor solução. Assim, as soluções propostas sempre podem ser melhoradas em pelo menos dois aspectos: eficiência, medida em percentual de ocupação dos itens pequenos sobre a matéria-prima e tempo computacional para solução de um problema, calculado geralmente em segundos.

Em Alves (2010), o *Marker-Making Problem* foi tratado através de uma heurística. Para poder verificar o desempenho (tempo e eficiência) da heurística foi desenvolvido o software Riscare⁵ para o encaixe de moldes da indústria do vestuário sobre tecidos⁶ lisos. A verificação dos resultados obtidos pelo software Riscare foi realizada por meio do encaixe de problemas específicos da indústria do vestuário e problemas considerados benchmarks, que estão disponíveis online no website ESICUP-EURO *Special Interest Group on Cutting and Packing*⁷. A prática de utilizar os problemas benchmarks e comparar a eficiência e o tempo com o desempenho obtido por outros autores é comum na literatura (BALDACCI *et al.*, 2014; ELKERAN, 2013; BURKE *et al.*, 2010; IMAMICHI, YAGIURA e NAGAMOCHI, 2009; GOMES e OLIVEIRA, 2006).

Os benchmarks para o *Irregular Strip Packing Problem* englobam problemas desenvolvidos para testes (denominados de artificiais), peças com formato de quebra-cabeça, em que uma peça se encaixa perfeitamente na outra (conhecidos como *jigsaw*) e moldes da indústria do vestuário.

Quando moldes da indústria do vestuário são utilizados para o encaixe é preciso considerar algumas especificidades dessa área. Cada molde deve ter uma indicação de como ele deve ser posicionado ao longo do comprimento do tecido. Os moldes podem ser colocados em um único sentido do comprimento do tecido ou nos dois sentidos, pela

⁴ Coppin (2010) descreve a heurística como uma regra ou parte de uma informação que é utilizada para fazer uma busca ou solucionar outro problema.

⁵ O software Riscare foi desenvolvido durante a dissertação de mestrado da Autora deste trabalho (ALVES, 2010) e executa o encaixe de moldes em tecidos lisos. Está registrado no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) do Brasil com o número 12048-2.

⁶ Na indústria do vestuário, as peças pequenas são denominadas de moldes e o objeto grande é o tecido (ARAÚJO, 1996).

⁷ Disponível em: < http://paginas.fe.up.pt/~esicup/tiki-index.php?page_ref_id=1>. Acesso em: 27 ago. 2014.

rotação de 180°. As restrições de rotação estão relacionadas à existência de estampas, pelos e características inerentes do entrelaçamento do tecido. Em algumas situações, com o objetivo de melhorar a eficiência do encaixe e desde que não prejudiquem o caimento da peça depois de confeccionada, pode-se optar pela rotação de alguns moldes em 90°. Após a etapa de encaixe, todos os moldes devem estar inseridos no tecido e não deve haver sobreposição entre eles.

Apesar dos problemas benchmarks englobarem exemplos da indústria do vestuário e considerarem as restrições de rotação dos moldes, algumas especificidades desse processo produtivo não são abordadas nos trabalhos citados anteriormente. Nielsen e Odgaard (2003), explicam que pode haver uma quantidade elevada de restrições relacionadas a cada tipo de encaixe, dependendo da indústria de origem do problema. Os autores evidenciam que algumas das restrições podem ser descritas como variantes do problema e requerem tratamento especial.

Nielsen e Odgaard (2003) apresentam uma situação peculiar da indústria do vestuário: o encaixe de moldes em tecidos listrados. Os autores abordam a necessidade que existe na indústria do vestuário de que alguns moldes possuam correspondência de posição na etapa de encaixe. Essa situação ocorre quando há um tipo de tecido com um padrão, como, listras ou um desenho, e esse padrão precisa ter continuidade após a etapa de costura das partes constituintes da roupa.

Diversos outros autores da área de moda e tecnologia do vestuário (ALDRICH, 2014; TREPTOW, 2013; FISCHER, 2010; TYLER, 2008; ARAÚJO, 1996; YATES, 1995) enfatizam que na etapa de encaixe em tecidos listrados e xadrezes há a necessidade de posicionamento dos moldes de modo que as linhas tenham continuidade na peça de roupa após a etapa de costura. Apesar do consenso entre os pesquisadores, há uma lacuna na produção de trabalhos relacionados ao problema específico de colocação de moldes sobre tecidos listrados para posterior corte. Nielsen e Odgaard (2003) propõem uma solução para uma parte do problema, porém não abordam os diferentes tipos de tecidos listrados e as posições dos moldes na etapa de encaixe. Os autores também não apresentam resultados obtidos para este tipo de problema.

Bennell e Oliveira (2009), assim como as pesquisas que são descritas ao longo deste trabalho sobre o *Irregular Strip Packing Problem*, mostram como a evolução ao longo dos anos fez os algoritmos melhorarem seu desempenho. Atualmente, publicações, como a de Elkeran (2013), apresentam algoritmos de encaixe com

excelentes valores de eficiência e um pequeno tempo de processamento. Porém, variantes do problema, direcionadas para situações reais de indústrias, como o caso do encaixe de moldes em tecidos listrados, ainda não possuem quantidade de trabalhos significativa. Por outro lado, alguns softwares comerciais direcionados para os problemas da indústria do vestuário, como o Diamino da empresa Lectra (França) e o AccuMark da Gerber (USA), realizam o encaixe de moldes em tecidos listrados.

Apesar dos softwares das empresas Lectra e Gerber realizarem o encaixe de moldes de modo automatizado em tecidos listrados, eles possuem alto valor para aquisição. Somado a este fato é possível encontrar com frequência, em lojas dos mais diferentes segmentos e públicos, exemplos de peças do vestuário em que não houve uma preocupação com o encaixe das listras após a etapa de costura. Assim, se repete seguidamente o processo em que roupas com estampas e listras que não coincidem passam pelos setores de modelagem, corte, costura e ao final são comercializadas para os clientes.

Dessa forma, tem-se um contexto onde o problema real de encaixe de moldes da indústria do vestuário em tecidos lisos já é tratado academicamente e onde softwares comerciais apresentam soluções para empresas de confecção. Porém, uma especificidade desse problema, o correto posicionamento de moldes no encaixe em tecidos listrados não é tratado academicamente na mesma proporção de sua importância econômica para as empresas de confecção.

Como contribuições para essa lacuna nesta pesquisa foram desenvolvidos dois algoritmos: algoritmo com etapa de pré-processamento e algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings para o problema de encaixe de moldes em tecidos listrados. Os dois algoritmos foram implementados em uma nova versão do software Riscare, denominado Riscare Listrado, e apresentaram resultados de encaixe em tecidos listrados com eficiências próximas aos melhores resultados encontrados na literatura para a versão dos em tecidos lisos.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Proposição de solução para os problemas bidimensionais de encaixe de moldes com formas irregulares direcionados para a etapa posterior de corte em tecidos listrados. Serão consideradas as restrições de rotação dos moldes, tamanho e características do

tecido, priorizando a minimização do desperdício de matéria-prima e buscando um tempo de processamento computacional compatível com o apresentado na literatura.

1.3 PROBLEMA

Como desenvolver técnica de encaixe para que seja possível minimizar o desperdício de tecido no processo de encaixe de moldes em tecidos listrados para a etapa posterior de corte na indústria do vestuário?

1.4 HIPÓTESES

- A representação gráfica dos moldes e do tecido através da simplificação das formas geométricas pela divisão das peças em *grids*⁸, com informações numéricas e com cores, possibilita o correto posicionamento dos moldes nas listras durante o processo de encaixe.
- Quanto maior for o número de encaixes diferentes gerados, haverá mais chance de se obter uma eficiência maior como solução final, mas com maior tempo de processamento computacional.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo Geral

Desenvolver técnica de encaixe de moldes em tecidos listrados que respeite as restrições de rotação e colocação, minimize o desperdício de tecido e tenha um tempo de processamento computacional compatível com o apresentado na literatura.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Estudar e analisar os tipos de tecidos listrados e como as diferentes padronagens influenciam o encaixe através das possibilidades de rotação dos moldes e na colocação dos moldes sobre a matéria-prima.
- Pesquisar historicamente como surgiu e se desenvolveu os estudos relacionados aos problemas de encaixe bidimensional de formas irregulares.

⁸ *Grids* são finitas partes de mesma dimensão. Um conjunto de *grids* é utilizado, no método *raster*, para representar uma forma geométrica. O método *raster* é descrito no subcapítulo 3.2.2 deste trabalho (BENNEL e OLIVEIRA, 2008).

- Aprofundar o embasamento teórico sobre técnicas e algoritmos empregados para a resolução de problemas de encaixe bidimensional para verificar o estado da arte no tema.
- Classificar as principais características das soluções para os problemas de encaixe bidimensional de formas irregulares.
- Identificar as diferentes restrições de roupas em tecidos listrados que precisam ser consideradas na etapa de encaixe de moldes.
- Realizar testes comparativos com casos benchmarks de encaixe de moldes de tecidos lisos, em virtude de não haver publicações que apresentem resultados de encaixe para tecidos listrados.
- Sugerir um novo problema para teste, específico do encaixe em tecidos listrados, de acordo com a identificação realizada das restrições de roupas confeccionadas neste tipo de tecido.

1.6 JUSTIFICATIVA

O setor têxtil-confeção mundial e nacional movimentava elevados valores. No ano de 2012, os negócios relacionados ao setor têxtil e de confecção mundial fez circular em transações aproximadamente US\$ 744 bilhões, segundo dados da Organização Mundial do Comércio divulgados pela ABIT. A ABIT, Associação Brasileira da Indústria Têxtil, projeta que para o ano de 2020, que o número se eleve para US\$ 851 bilhões (ABIT, 2014).

Em nível mundial, o Brasil ocupa a quinta posição em relação à produção de indústrias têxteis e a quarta posição em relação à produção de empresas de confecção. Porém, a participação nacional no mercado mundial representa menos de 0,4% (ABIT, 2014).

Em 2014, o número de trabalhadores da área têxtil e de confecção de empresas instaladas no Brasil, com empregos diretos, era de 1,7 milhão de pessoas, sendo 75% mulheres. Em 2012, o número de empregos indiretos era de aproximadamente 8 milhões. No Brasil, as atividades ligadas ao setor têxtil e de confecção possuem cerca de 200 anos, e nesse período o setor construiu importância econômica e social para o país, sendo a segunda indústria de transformação que mais emprega e a segunda maior geradora do primeiro emprego (ABIT, 2014; BORLINA FILHO, 2012).

No Brasil, o setor têxtil e de confecção obteve um faturamento aproximado de US\$ 56,7 bilhões em 2012 (STECANELLA, 2013). O gasto estimado das famílias brasileiras com produtos têxteis e de vestuário foi de R\$ 102 bilhões em 2012 e R\$ 100 bilhões em 2014 por meio da produção de mais de 30 mil empresas. O mercado consumidor brasileiro, que compra produtos de vestuário, cama, mesa e banho, situa-se entre os oito maiores mercados consumidores do mundo. O investimento médio no setor é de R\$ 5 bilhões por ano, enquanto que as contribuições federais e pagamentos de impostos somaram, no ano de 2013, R\$ 7 bilhões (ABIT, 2014).

O Produto Interno Bruto (PIB) da cadeia têxtil e confecção, em que estão incluídas as indústrias têxtil, confecção e o setor de varejo somou R\$ 38,3 bilhões em 2012. O crescimento médio real do PIB dos três segmentos, no período de 2007 a 2012 foi acima do crescimento médio do país e diferente da indústria de transformação como um todo, que registrou queda no mesmo período (MEYGE, 2013).

Apesar dos investimentos e do crescimento do PIB no setor, houve nos últimos anos, aumento no compartilhamento do mercado interno com produtos importados. No período de 2003 à 2013 a importação de produtos do vestuário aumentou 24 vezes, passando de US\$ 148 milhões para US\$ 3,5 bilhões. O mercado nacional de comercialização de produtos do vestuário possui em torno de 15% de marcas importadas. Em 2004, esse percentual era de 2% (ABIT, 2014).

No ano de 2014, a ABIT elaborou um material denominado de “Agenda de Prioridades: Têxtil e Confecção 2015 a 2018”. Esse documento apresenta um conjunto de propostas para melhorar a competitividade das indústrias têxteis e de confecção no mercado nacional e mundial. O documento destaca 20 propostas prioritárias divididas por temas. Dentre essas propostas, seis estão relacionadas com a presente pesquisa. De um modo geral, as seis propostas evidenciam a necessidade de políticas industriais e incentivos na área de inovação e tecnologia, assim como a preocupação com o acesso das pequenas e micro empresas à inovação (ABIT, 2014).

Na moda, a tecnologia direcionada para a inovação, permite o desenvolvimento de produtos que seriam muito mais difíceis de serem produzidos, ou até mesmo inviáveis de serem criados (MODA, 2014). A presente pesquisa utiliza da tecnologia para viabilizar a resolução de um problema encontrado em alguns encaixes da indústria do vestuário e traz benefícios para o processo produtivo de alguns produtos do

vestuário. Assim, corrobora também com as propostas da ABIT (2014) para a melhoria da competitividade das indústrias de confecção.

Há consenso entre os autores da área de moda e tecnologia do vestuário (ALDRICH, 2014; TREPTOW, 2013; FISCHER, 2010; TYLER, 2008; ARAÚJO, 1996; YATES, 1995) sobre a necessidade, na etapa de encaixe sobre tecidos listrados, de inserção dos moldes em locais específicos, para que após a etapa de costura, as linhas apresentem continuidade na roupa. Em *Readers Digest* (1980) há uma seção inteira com instruções para o encaixe manual, com indicação do local de colocação dos moldes sobre tecidos com estampas, listrados e xadrezes. Pastoreau (1993), autor do livro “O pano do diabo: uma história das listras e dos tecidos listrados”, escreveu 128 páginas sobre a história das listras e dos tecidos listrados. O emprego de listras em roupas já foi utilizado para simbolizar loucos na Idade Média, foi moda no século XV, símbolo da corrente higienista do século XIX e ainda está presente nos dias atuais. Como por exemplo, as roupas desenvolvidas para surfistas com listras brancas e pretas, que levam o tubarão a acreditar que o surfista não é um bom alimento (AUSTRALIANOS, 2013). Atualmente, as listras, depois do tecido liso, são a estampa mais empregada no mundo (PASTOREAU, 1993; CHATAIGNIER, 2006).

O desenvolvimento de roupas listradas está relacionado ao campo de conhecimento da Moda que, como citado anteriormente, tem percentual elevado de participação nas indústrias de transformação do país. Por outro lado, é a área de pesquisa em otimização combinatória que busca soluções para os problemas de inserção dos moldes sobre o tecido com o objetivo de diminuição do desperdício. Há um volume de trabalhos elevado na área da Moda que comprovam a importância do desenvolvimento de roupas de qualidade em tecidos listrados. Porém, não se encontra na literatura quantidade equivalente de trabalhos de otimização combinatória para resolução de problemas de corte e encaixe em matérias-primas com listras.

O principal objetivo dos problemas de corte e encaixe, estudados pela área de otimização combinatória, é a diminuição do desperdício de matéria-prima (BENNELL e OLIVEIRA, 2008). Na indústria de confecção do vestuário, a matéria-prima tem impacto significativo no custo do produto final (ARAÚJO, 1996). Assim, a redução da utilização de tecido para a confecção do produto influencia diretamente o preço final.

Com números expressivos, a cadeia têxtil-confecção dispõe de inúmeros softwares para lidar com diferentes etapas do processo produtivo de seus produtos,

como, a etapa de encaixe de moldes sobre o tecido. Destacam-se os softwares Audaces (Brasil), Moda-01 (Brasil), Lectra (França), Gerber (USA), OptiTex (Israel), Pad (Canada), Assyst (Alemanha), i-Omni (Korea), TexPia (Korea), Yuka (Japão), Asahi-Kasei (Japão), entre outros. Diferentemente dos trabalhos publicados na literatura, sabe-se que, dentre as empresas mencionadas, alguns softwares, como das empresas Lectra e Gerber, realizam o encaixe de moldes em tecidos listrados de modo automatizado, ou seja, sem o auxílio de especialistas humanos.

O desenvolvimento de softwares e máquinas para resoluções de problemas específicos da indústria do vestuário possuem elevado custo. Daniel Harari, diretor geral da empresa Lectra, cita o valor em torno de 20.000.000,00 EUR. Esse valor foi gasto para desenvolver o software e a máquina da empresa que permitem o encaixe de moldes sobre o couro. Daniel Harari também explica que o tempo de desenvolvimento é longo, aproximadamente quatro anos (MODA, 2014).

Com alto custo de desenvolvimento, é possível compreender o porquê dos softwares comerciais, que lidam com o problema de encaixe em tecidos listrados, possuírem licenças de uso com alto valor de aquisição. Por outro lado, nem todas as empresas podem pagar por softwares específicos.

No Brasil, a cadeia têxtil e de confecção nacional é formada predominantemente por micros e pequenas empresas. Das 30 mil empresas nacionais do setor, 83% são micro empresas e 14,9% pequenas empresas (ABIT, 2006 *apud* BRITO, 2008). A aquisição de licenças de uso de softwares específicos e que colaboram para a melhoria do processo produtivo de produtos do vestuário pode ser inviável para essas empresas. Porém, a não aquisição de novas tecnologias contribui para a diminuição da competitividade (ABIT, 2014).

No caso do encaixe de moldes em tecidos listrados, outra possibilidade, além do encaixe automático, é o encaixe manual. Porém, geralmente é preciso optar entre elevado tempo para a conclusão da etapa ou alto desperdício de tecido. A partir desses dados, conclui-se empiricamente que outra opção de produção frequente, que não impacta financeiramente no processo produtivo, é o desenvolvimento de uma grande quantidade de peças do vestuário confeccionadas em tecidos listrados sem a preocupação de coincidência das listras após a etapa de costura. Tal fato pode ser visto com frequência em peças de roupas comercializadas. Porém, quando os produtos são

confeccionados dessa forma, a qualidade das peças e conseqüentemente a competitividade das empresas diminui.

Assim, no presente trabalho são propostas soluções que visam contribuir com o problema de encaixe de moldes em tecidos listrados. As soluções foram transformadas em algoritmos e implementadas no software Riscare. Esse software pode vir a atender uma demanda de mercado das micros e pequenas empresas e contribuir para aumentar a competitividade de seus produtos. Uma vez que é fundamental na produção de um produto de melhor qualidade para o consumidor um software que respeite as restrições e execute o encaixe de moldes em tecidos listrados. Soma-se a esses benefícios, a contribuição teórica da presente pesquisa para duas grandes áreas de pesquisa: tecnologia do vestuário dentro do campo de pesquisa em moda e problemas de corte e encaixe da área de otimização combinatória.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em onze capítulos. O presente capítulo, denominado Introdução – Demarcação do fenômeno, apresenta a contextualização do tema abordado, o problema que se pretende encontrar uma solução, os objetivos, as hipóteses e a justificativa da realização da pesquisa.

O capítulo 2, **Encaixe de moldes em tecidos listrados** tem como objetivo relatar os diferentes tipos de tecidos listrados, as diferentes padronagens e como elas influenciam nas possibilidades de rotação e colocação dos moldes sobre o tecido. Fornece fundamentação teórica sobre o problema de encaixe com o referencial teórico da área de Design de Moda.

O capítulo 3, **Problemas bidimensionais de corte e encaixe de formas irregulares** também é parte da fundamentação teórica do trabalho. Descreve de forma cronológica como o problema surgiu e apresenta o estado da arte. São relatadas as principais classificações em relação os métodos empregados e as abordagens mais atuais para o problema e consideradas, pela autora, relevantes para este trabalho. O final do capítulo o método Monte Carlo Cadeias de Markov e o algoritmo Metropoli-Hastings são descritos.

O capítulo 4, **Metodologia** descreve a abordagem metodológica empregada na pesquisa. Apresenta-se a classificação e o delineamento da pesquisa, onde são explicadas as etapas do método científico.

O capítulo 5, **Análise sistemática de roupas confeccionadas em tecidos listrados** apresenta a etapa de pesquisa documental. Nesse capítulo, é feita uma análise através de imagens de roupas em tecidos listrados. São relatadas as restrições de algumas peças de roupa confeccionadas em tecidos listrados que devem ser consideradas para a etapa de encaixe dos moldes.

O capítulo 6, **Procedimentos dos algoritmos de encaixe de moldes em tecidos listrados** apresenta informações sobre etapas que são iguais para os dois algoritmos desenvolvidos na presente pesquisa. Está dividido em três subcapítulos: Representação gráfica dos moldes e do tecido, Rotação dos moldes em 180° e Identificação da localização do módulo no molde.

O capítulo 7, **Algoritmo de encaixe com pré-processamento** descreve o primeiro algoritmo proposto para o problema do encaixe de moldes. É explicado como funciona a etapa de pré-processamento e como os moldes são dispostos sobre o tecido utilizando as informações da etapa de pré-processamento. Ao final do capítulo foi construído um Quadro com as etapas do algoritmo.

O capítulo 8, **Algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o método Cadeias de Markov Monte Carlo e o algoritmo de Metropolis-Hastings** apresenta o segundo algoritmo proposto para o problema do encaixe. Este capítulo está dividido em subcapítulos que correspondem às fases do algoritmo de Metropolis-Hastings. Ao final do capítulo também foi construído um Quadro com as etapas do algoritmo.

O capítulo 9, **Riscare Listrado** descreve a partir da interface do software como os algoritmos propostos funcionam.

O capítulo 10, **Resultados** apresenta a pesquisa experimental desenvolvida para testar os algoritmos propostos para o problema do encaixe. Neste capítulo são mostradas Tabelas com eficiências, média das eficiências e tempo para diferentes problemas de encaixe de moldes em tecidos com listras verticais e horizontais.

O último capítulo, **Conclusão** apresenta as principais reflexões do trabalho com as etapas concluídas. Também são analisados os objetivos traçados com os resultados obtidos e a verificação das hipóteses. São propostas sugestões para a continuidade da pesquisa e o desenvolvimento de novos trabalhos.

No final do texto, após as **Referências**, apresenta-se um **Glossário** com palavras específicas da área de moda e vestuário.

2 ENCAIXE DE MOLDES EM TECIDOS LISTRADOS

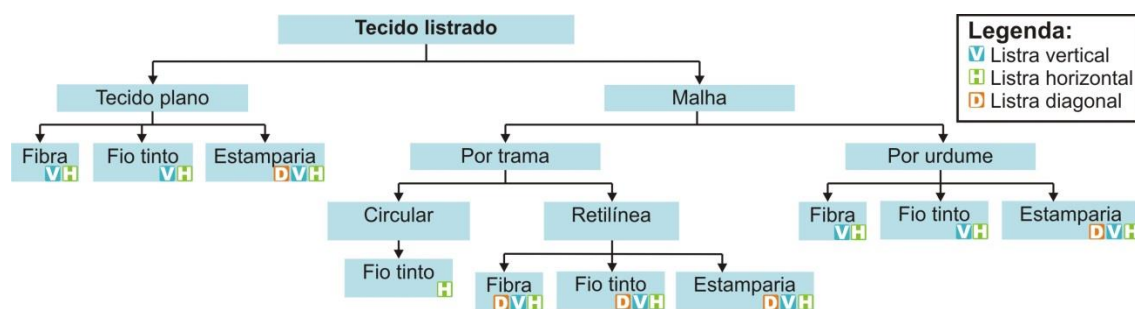
Este capítulo apresenta as necessidades específicas que devem ser consideradas para o encaixe de moldes em tecidos listrados. Os autores e trabalhos citados neste capítulo fazem parte do campo de estudo da moda, assim como suas perspectivas, que são direcionadas para as necessidades do desenvolvimento e produção de produtos do vestuário. São descritos em subcapítulos os principais tipos, as diferentes padronagens, as possibilidades de rotação de moldes, e a colocação dos moldes em tecidos listrados.

2.1 TIPOS DE TECIDOS LISTRADOS

Fragmentos têxteis, encontrados no final do século XX, comprovam que havia tecidos com listras coloridas datados do século I d.C (PEZZOLO, 2007). Anterior a esse período, o Antigo Testamento também cita roupas com tecidos listrados. Atualmente, depois do tecido liso, as listras são a estampa mais empregada no mundo (CHATAIGNIER, 2006).

Os tecidos listrados são aqueles que possuem listras, ou seja, faixas coloridas ou de características diferenciáveis do tecido dispostas paralelamente (UDALE, 2009; YATES, 1995). As diferenças de padrões entre os tecidos são, em sua maioria, caracterizadas pelas diferenças de cores, que distinguem um tecido listrado. As cores podem ser aplicadas em qualquer estágio de produção de uma roupa, desde a fibra, o fio, o tecido até a roupa pronta. A Figura 1 apresenta de modo esquemático os principais processos produtivos que podem dar origem aos tecidos listrados. Os símbolos utilizados, e descritos através da legenda do canto direito da imagem, indicam os tipos de listra (vertical, horizontal e diagonal) que podem ser produzidas a partir de cada processo.

Figura 1 – Processos de fabricação de tecidos listrados



Fonte: a Autora

Os principais tipos de tecidos podem ser classificados em quatro grupos: tecidos planos, tecidos de malha, tecidos de laçada e nãotecidos (CHATAIGNIER, 2006). Os tecidos planos são compostos de fios dispostos no sentido do comprimento do tecido, denominados de fios de urdume, por entre os quais atravessam os fios da trama no sentido da largura do tecido. O entrelaçamento dos fios forma um ângulo de 90°. A Figura 2 mostra uma amostra de tecido plano listrado.

Figura 2 – Tecido plano listrado



Fonte: a Autora

Pode-se produzir um tecido plano listrado de diferentes formas: fibra colorida, fios tintos e através de processos de estamparia. Os tecidos produzidos de fibras coloridas ou com fios tintos podem apresentar listras no sentido vertical e horizontal. Isso é devido ao fato de que os fios coloridos podem ser utilizados tanto nos fios de urdume, quanto nos fios da trama. Também se pode obter um tecido listrado pelos processos de estamparia. Após a tecelagem, o tecido recebe na etapa de acabamento a aplicação de uma padronagem, que é percebida apenas do lado direito do tecido. Uma vez que o processo de estamparia não possui relação com o entrelaçamento dos fios, é possível obter as mais diversificadas listras em todas as posições: horizontal, vertical e diagonal (CHATAIGNIER, 2006).

Existem outros meios, não tão comuns para a obtenção de tecidos listrados, porém também considerados por alguns autores dentro da classificação de estamparia. Por exemplo, o devorê, processo no qual o tecido, composto por duas fibras distintas, passa por um processo químico e perde parte de suas fibras (UDALE, 2009; CHATAIGNIER, 2006).

Outra forma de fabricação de tecidos é através da malharia. Os tecidos de malha são formados a partir do entrelaçamento de laçadas e podem ser construídos com um ou mais fios. Os tecidos de malha podem ser tricotados ao longo do urdume (comprimento) ou da trama (largura). A fabricação de malhas por trama, a mais comum das duas, pode ser dividida em: malharia circular e malharia retilínea. Na malharia circular, se um fio colorido for utilizado, a produção de tecido será exclusivamente com listras no sentido horizontal. Essa característica é dependente da construção do tecido e das máquinas utilizadas. Na malharia retilínea é possível, além das listras horizontais, a construção de tecidos com listras verticais ou diagonais, que podem ser desenvolvidas através de cartões perfurados, folha milimetrada, software CAD, ou técnica de malha parcial. Diferentemente das malhas por trama, as malhas por urdume são obtidas pelo entrelaçamento de um ou mais conjuntos de fios colocados lado a lado no tear. A Figura 3 apresenta uma malha por trama circular (SISSONS, 2012; UDALE, 2009; CHATAIGNIER, 2006).

Figura 3 – Malha por trama circular



Fonte: a Autora

Os tecidos de laçada são obtidos por processos que envolvem um ou mais fios trançados ou entrelaçados, diferentemente da malha, a laçada é completa e forma nós que são a base da armação. Não é comum a utilização de listras em tecidos de laçada (UDALE, 2009; CHATAIGNIER, 2006).

Os nãotecidos são “(...) estruturas planas, flexíveis e porosas, as quais são obtidas em forma de mantas, véus, por meio de produtos químicos, fibras, filamentos e consolidados por meios mecânicos, químicos, térmicos, solventes (...)” (REWALD, 2006). A fabricação de nãotecidos listrados também não é frequente.

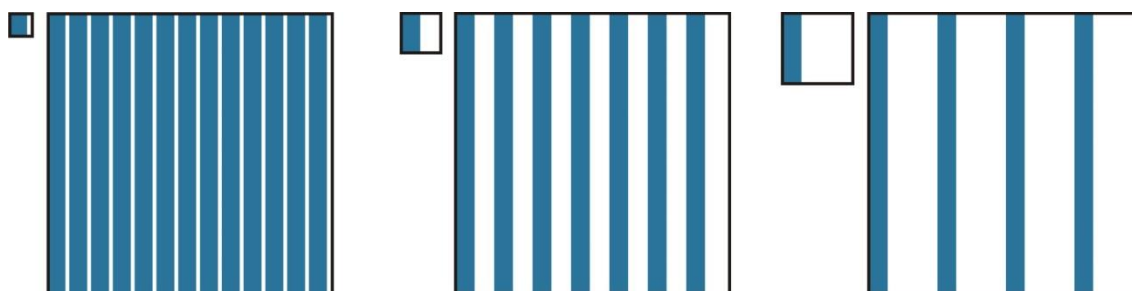
Assim, a variedade de tecidos listrados é produzida predominantemente em tecidos planos e malhas, que podem ser utilizados na confecção de peças de roupa com diferentes características. Para a confecção de roupas em tecidos listrados é necessário também a compreensão dos padrões, das restrições de encaixe e das possibilidades de rotação dos moldes na etapa de encaixe.

2.2 PADRONAGEM DE TECIDOS LISTRADOS

Há diferentes tecidos com distintos padrões listrados, as principais diferenças em relação às listras concentram-se em: tamanho, posição e padronagem. De certa forma, todos esses conceitos estão relacionados entre si. O tamanho refere-se à largura da listra, quando comparada ao fundo, ela pode ser considerada fina, média ou grossa. Em um mesmo módulo pode haver listras de diferentes larguras, posicionadas próximas ou distantes umas das outras. O módulo é a unidade da padronagem, ou seja, a menor área que inclui todas as listras que compõem o desenho. Após a repetição do módulo, que pode ter diferentes posições, é gerado o padrão (RÜTHSCHILLING, 2008).

A Figura 4 apresenta três padronagens com seus respectivos módulos no lado superior esquerdo. Se o fundo for considerado azul, a primeira padronagem apresenta listras finas de mesma largura; quando comparadas às larguras entre as listras brancas e as azuis, as brancas possuem a largura menor. A segunda padronagem mostra listras de largura média, as listras brancas e azuis possuem mesma largura. A terceira padronagem apresenta listras grossas, quando a largura das listras brancas é comparada com a largura das listras azuis, as brancas apresentam largura maior.

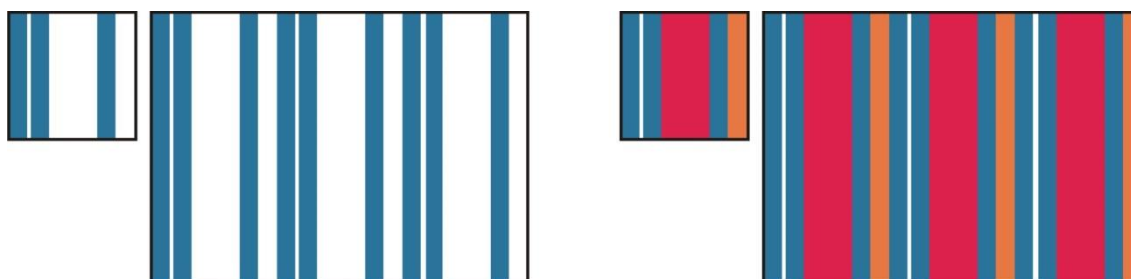
Figura 4 – Módulos e padronagens com diferentes larguras de listras



Fonte: a Autora

A Figura 4 apresenta apenas exemplos de padronagens com módulos em que as listras brancas possuem a mesma largura, assim como as listras azuis. Porém, também existem as padronagens em que há mais de duas larguras de listras em um mesmo módulo. A Figura 5 mostra dois exemplos com o módulo e a padronagem. O primeiro módulo possui três larguras de listras nas cores branca e azul. Há listras brancas fina, média e grossa, e listras em azul com a mesma largura da listra média branca. O segundo módulo tem as mesmas larguras de listras, mas com cores diferentes. Yates (1995) classifica os tecidos listrados de acordo com o número de diferentes larguras de listras em uma padronagem. Assim, a quantidade de cores em um módulo não tem influência, apenas a quantidade de listras com larguras distintas. Yates (1995) também classifica os tecidos xadrezes como listrados. As restrições para o encaixe de moldes em tecidos xadrezes são diferentes das considerações para listras posicionadas no tecido em um único ângulo. Assim, neste trabalho quando se utiliza o termo tecido listrado, desconsideram-se os tecidos xadrezes.

Figura 5 – Módulos e padronagens com diferentes larguras e cores

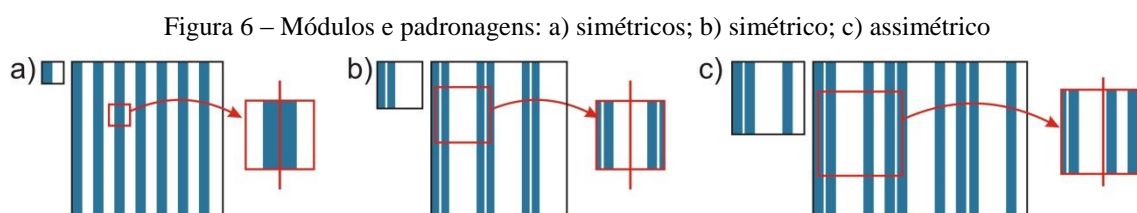


Fonte: a Autora

Apesar da classificação de Yates (1995) não considerar a quantidade de cores em um módulo listrado, Readers Digest (1980) destaca que quanto mais larguras e cores

tiverem o módulo maior será a importância de definir qual a listra ou o espaço corresponderá às partes da peça do vestuário que chamam mais atenção. Readers Digest (1980) recomenda, de um modo geral, que as listras mais evidentes devem ficar sobre as barras inferiores das peças de vestuário, como bainhas e extremidade das mangas. Porém, em outras situações, como bainha de saias arredondadas deve-se optar pela listra com a cor mais discreta. Evita-se também a colocação de listras que chamam mais atenção na cintura e na zona mais volumosa do busto e dos quadris. Assim, o número de cores não interfere na quantidade de larguras em um módulo, mas devem ser consideradas para a confecção de produtos do vestuário (READERS DIGEST, 1980).

Yates (1995) também divide os diferentes tipos de tecidos listrados em: com repetição simétrica, a partir de um eixo central imaginário as listras são idênticas para cada lado deste eixo; com repetição assimétrica, as listras são diferentes para cada lado do eixo imaginário. As padronagens da Figura 6(a) e 6(b) são exemplos de padrões listrados simétricos. Se for analisado apenas o módulo – lado superior esquerdo de cada padronagem – ele pode sugerir que o tecido não possui listras simétricas. Porém, conforme a definição da palavra módulo – unidade da padronagem que possui a menor área e inclui todas as partes que compõem o desenho – pode-se ter mais de um módulo para a mesma padronagem (RÜTHSCHILLING, 2008). Assim, é preciso sempre analisar a padronagem do tecido listrado antes de definir se o padrão do tecido é simétrico ou assimétrico. Já a padronagem da Figura 6(c) é assimétrica, traçado um eixo, em nenhuma parte as listras são iguais dos dois lados.



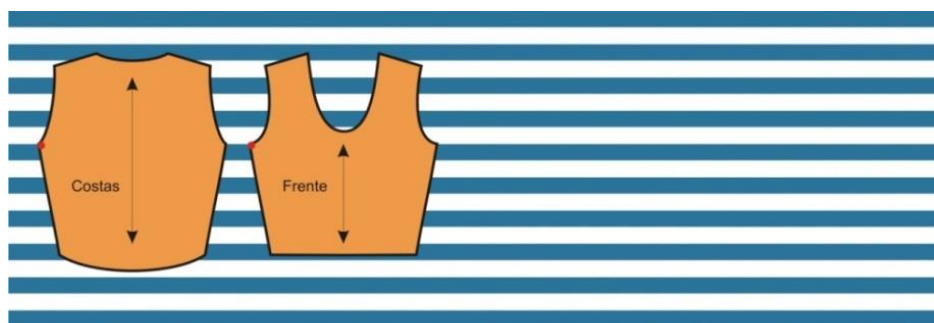
Fonte: a Autora

A quantidade de cores, simetria ou assimetria das listras em um módulo influenciam nas possibilidades de rotação e na definição da localização dos moldes sobre o tecido na etapa de encaixe. Essas possibilidades são abordadas nos próximos subcapítulos.

2.3 ROTAÇÃO DE MOLDES EM TECIDOS LISTRADOS

Segundo Fischer (2010) é importante que os diferentes moldes, que após cortados no tecido irão se encontrar na peça final através de costuras, tenham a padronagem alinhada antes do corte. Os moldes devem conter marcações das listras principais ou indicações, que devem ser iguais nas partes adjacentes. A autora recomenda atenção nas costuras laterais, no centro da frente e das costas, nas cavas, mangas, bolsos, debruns, punhos, pala e gola. A Figura 7 apresenta os moldes da parte das costas e da frente de uma blusa para serem cortados em um tecido com listras horizontais simétricas.

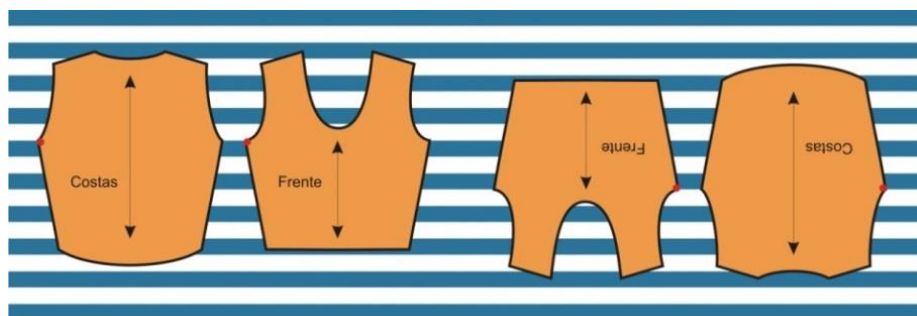
Figura 7 – Disposição dos moldes de uma blusa em tecido listrado horizontal simétrico



Fonte: a Autora

Na Figura 7 é importante, como recomendado por Fischer (2010), que as laterais da peça no molde da frente e das costas fiquem na mesma posição da listra. O ponto de coincidência dos moldes está indicado com um círculo vermelho. Não importa a posição que o molde vá ser colocado no tecido, o importante é que a localização do ponto de coincidência seja o mesmo no módulo que se repete ao longo do tecido. Caso se deseje rotacionar os moldes durante o encaixe, com o objetivo de melhorar a eficiência de utilização do tecido; dispõem-se os moldes sobre o tecido de forma que não seja possível identificar, quando a peça estiver pronta, qual rotacionou em 180° na etapa de encaixe. A Figura 8 mostra os moldes sem e com rotação de 180°.

Figura 8 – Moldes dispostos sobre o tecido sem e com rotação de 180°



Fonte: a Autora

Se os moldes foram dispostos sobre o tecido corretamente, depois da etapa de corte não é mais possível identificar os moldes rotacionados e sem rotação. A Figura 9 faz uma simulação da etapa de corte para a disposição dos moldes mostrada na Figura 8. Através da Figura 9 é possível comprovar que as listras ficaram na mesma posição das peças nos moldes sem e com rotação.

Figura 9 – Encaixe do molde da frente de uma blusa em tecido listrado horizontal simétrico

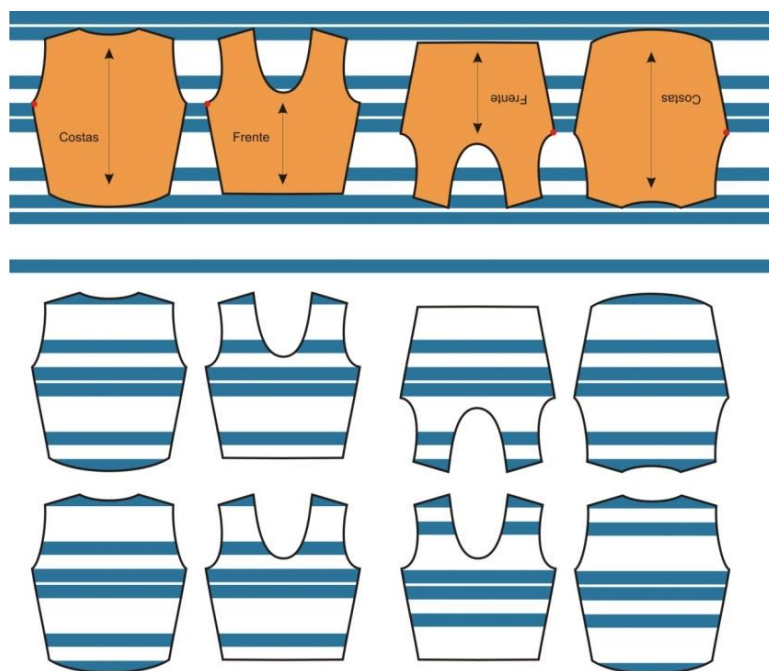


Fonte: a Autora

A Figura 10 apresenta as mesmas etapas apresentadas nas Figuras 7, 8 e 9 para os moldes da blusa, mas agora sobre um tecido listrado horizontal assimétrico. É possível perceber que para tecidos assimétricos não se consegue obter peças iguais, caso um dos moldes seja rotacionado em 180°. Apesar dos moldes da frente e das costas rotacionados em 180° manterem a coincidência das listras entre si, elas são diferentes

dos moldes que não rotacionaram. Em um encaixe automatizado não é possível estabelecer a quantidade de moldes de cada parte da peça que poderá rotacionar, assim, torna-se inviável a rotação dos moldes em 180° que serão dispostos sobre tecidos com listras assimétricas.

Figura 10 – Encaixe do molde da frente de uma blusa em tecido listrado horizontal assimétrico



Fonte: a Autora

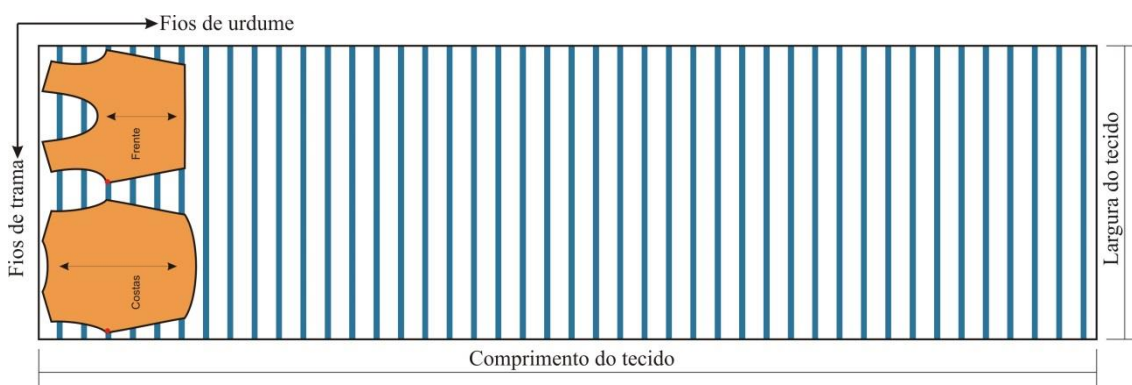
Além de listras assimétricas, os tecidos também podem ter outras características que impossibilitam a rotação dos moldes em 180°. Dessa forma, a listra pode ser simétrica, mas os moldes não podem rotacionar porque o tecido possui sentido único (também conhecido como pé ou tecidos com lanugem). A lanugem ocorre porque terminações das fibras dos tecidos se projetam na superfície, é comum em tecidos como veludo, peles e algodão penteado. Incluem-se também em tecido com sentido único os de padrão que não é possível inverter e os tecidos que têm brilho ou mudança de cores dependendo do ângulo em que são observados, por exemplo, os cetins e os tecidos furta-cor. Nesse grupo de tecidos, se os moldes forem cortados com e sem rotação de 180°, a peça do vestuário irá apresentar diferenças tão grandes entre as partes que a constituem que podem parecer dois tecidos distintos (FISCHER, 2010; READERS DIGEST, 1980).

2.4 COLOCAÇÃO DOS MOLDES SOBRE TECIDOS LISTRADOS

Definidas as possibilidades de rotação de cada um dos moldes de um modelo e a localização de cada molde sobre um ponto específico do módulo das listras é possível iniciar a etapa de encaixe. Na etapa de encaixe os moldes provavelmente serão colocados sobre um dos dois tipos mais comuns de tecido listrado: tecido plano ou malha por trama.

Os tecidos planos, como citado anteriormente, são compostos de dois tipos diferentes de fios que se entrelaçam em um ângulo de 90°: fios de trama (sentido da largura) e fios de urdume (sentido do comprimento). Segundo Smith (2009), os fios de urdume são mais resistentes e tem menor possibilidade de elasticidade do que os fios da trama. Geralmente, os fios de urdume são mais pesados e pré-esticados antes de serem entrelaçados com os fios de trama. Por esses motivos, o sentido dos fios de urdume no tecido (sentido longitudinal, do comprimento do tecido) deve corresponder ao sentido vertical do molde. Assim, a roupa, após confeccionada, terá boa estabilidade no sentido do comprimento (JONES, 2005; CATELLANI, 2003). A Figura 11 mostra uma representação do tecido listrado horizontal⁹ simétrico, com o sentido dos fios de urdume, de trama e moldes sobre o tecido com o fio do molde na mesma direção dos fios de urdume.

Figura 11 – Moldes sobre tecido listrado horizontal simétrico

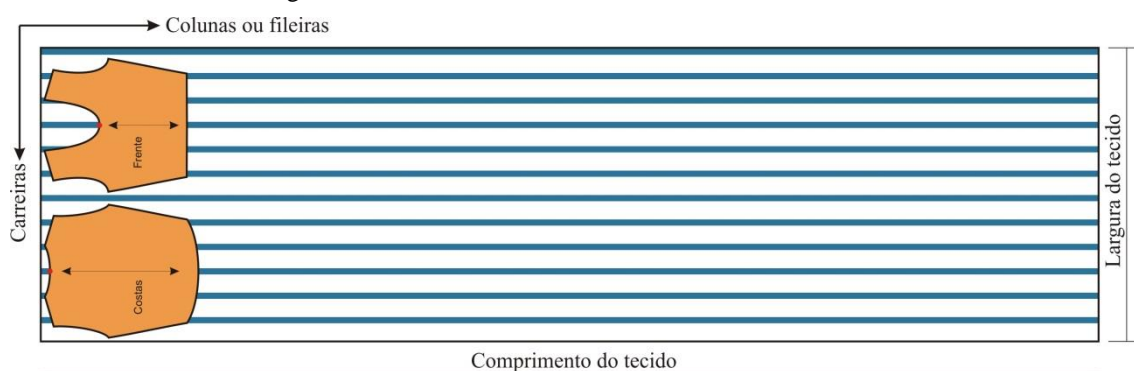


Fonte: a Autora

⁹ A disposição das imagens de representação do tecido na folha pode causar confusão na identificação de listras horizontais e verticais. As listras horizontais estão no sentido transversal do tecido, o mesmo dos fios de trama e geralmente também ficam na posição horizontal depois que a roupa está pronta. As listras verticais estão no sentido longitudinal do tecido, o mesmo dos fios de urdume e costumam ficar na posição vertical depois que a peça do vestuário está pronta.

Os tecidos de malha circular e retilínea possuem estrutura diferente dos tecidos planos. Esses tecidos são construídos por laçadas de fios que juntas formam carreiras superpostas. As laçadas estruturam linhas horizontais, conhecidas como carreiras e linhas verticais denominadas de fileiras ou colunas. Tanto as carreiras como as colunas esticam, mas há uma tendência maior de o tecido de malha esticar no sentido da largura. Assim, para que a peça tenha um melhor caimento o fio do molde deve coincidir com as colunas dos tecidos de malha. A Figura 12 mostra uma representação do tecido listrado vertical, com o sentido das colunas, das carreiras e moldes sobre o tecido com o fio do molde na mesma direção do comprimento do tecido (UDALE, 2009; JONES, 2005).

Figura 12 – Moldes sobre tecido listrado vertical simétrico



Fonte: a Autora

Independente da colocação de moldes ocorrer em tecidos listrados planos ou de malha, o percentual de aproveitamento do tecido (também denominado de eficiência ou rendimento) geralmente é menor do que em tecidos lisos. Para calcular a eficiência Araújo (1996) indica a Equação 1.

$$E (\%) = \frac{\text{Área total dos moldes}}{\text{Área total do tecido}} \times 100 \quad (1)$$

Aldrich (2014) cita que os fabricantes esperam que o percentual de aproveitamento do tecido seja acima de 80%, já que quanto maior for a eficiência do encaixe, menor será o desperdício de tecido. Araújo (1996) apresenta percentuais esperados de perda de tecido com a utilização de softwares CAD para o encaixe no segmento infantil e feminino de diferentes tipos de roupas. Para roupas infantis: blusas, camisas e saias, 10 a 12%; vestidos, camisolas e roupões, 15 a 18%; calções de banho,

calças, shorts, 20 a 25%. Para roupas femininas: tecidos lisos com qualidade média, 20 a 25%; tecidos lisos com alta qualidade e tecidos com estampas e qualidade média, 25 a 30% e tecidos com estampa e alta qualidade, 30 a 35%.

Nota-se na literatura que é esperado para o encaixe em tecidos listrados uma menor eficiência, quando comparado com o encaixe em tecidos lisos. O próximo capítulo aprofunda a fundamentação teórica sobre os problemas de corte e encaixe.

3 PROBLEMAS BIDIMENSIONAIS DE CORTE E ENCAIXE DE FORMAS IRREGULARES

Este capítulo apresenta um breve contexto histórico dos problemas de corte e encaixe, desde os primeiros trabalhos até os mais recentes. Os dois subcapítulos subsequentes explicam respectivamente as abordagens geométricas e a construção do encaixe. Essas são as duas principais escolhas que precisam ser feitas quando se trabalha com os problemas de corte e encaixe. No subcapítulo seguinte, são explicadas de modo detalhado as pesquisas mais significativas para a proposta deste trabalho e que abordam os problemas do encaixe ou que de alguma forma estão relacionadas a ele. Também é realizada uma breve discussão sobre algumas das abordagens para os problemas de encaixe bidimensional de itens irregulares apresentados na literatura. Os autores e trabalhos citados neste capítulo fazem parte do campo de estudo da área de pesquisa em corte (*cutting*) e encaixe (*packing*). As soluções propostas são direcionadas para a obtenção de encaixes com alta eficiência e baixo tempo de processamento computacional. Ao final do capítulo é explicado o método Cadeias de Markov Monte Carlo (CMMC) e o algoritmo Metropolis-Hastings.

3.1 CONTEXTO HISTÓRICO

Gilmory e Gomory (GILMORY e GOMORY, 1961, 1963, 1965) são conhecidos por terem desenvolvido os trabalhos pioneiros na área de corte e encaixe. O primeiro trabalho, publicado em 1961, apresentou a técnica *Column Generation* para o problema unidimensional de corte. A técnica desenvolvida pelos autores deparou-se com dificuldades na solução de problemas reais. Porém, tornou-se mais importante pelo fato de ter iniciado as pesquisas e gerado o interesse de outros pesquisadores na busca de soluções para os problemas de corte e encaixe. Assim, começou um aumento progressivo ao longo dos anos na quantidade e complexidade das abordagens empregadas para solucionar os problemas.

Na década seguinte, foram publicadas diversas pesquisas sobre os problemas de corte e encaixe de itens regulares (CANI, 1979; GAREY e JOHNSON, 1979; WHITLOCK E CHRISTOFIDES, 1977; GABOW, 1973; HERZ, 1972). Em conjunto com os avanços na área de informática, surgiram algoritmos mais rápidos e eficientes na década de 1980 (STOCKMEYER, 1983; GAREY e JOHNSON, 1981; GOFFMAN *et al.*, 1980). Porém, as soluções ainda estavam distantes das necessidades dos problemas

reais das indústrias. Os especialistas humanos que trabalhavam nessas indústrias, quando comparados aos algoritmos desenvolvidos, se destacavam e obtinham soluções com eficiências mais altas e em menor tempo. Apesar das pesquisas ainda estarem muito distantes das necessidades reais, nessa década foram publicados os primeiros trabalhos com itens irregulares (FRITSCH, 1994). Albano e Sapuppo (1980) são conhecidos como os primeiros autores a abordarem o encaixe de itens irregulares, que possuem geometria mais complexa, quando comparados aos itens regulares. Para lidar com a geometria das peças e poder realizar o encaixe, os autores aplicaram o método do polígono *no-fit*. Albano e Sapuppo (1980) foram os autores a utilizarem o termo *no-fit polygon* pela primeira vez, apesar do conceito do polígono *no-fit* ter sido introduzido na década de 1960 (BURKE *et al.*, 2006; DOWSLAND e DOWSLAND, 1995).

Nos últimos anos, o volume de publicações, que abordam os problemas de encaixe bidimensionais de formas irregulares aumentou significativamente, assim como a qualidade das técnicas empregadas. Bennell e Oliveira (2009) acreditam que a evolução das soluções pode ser atribuída ao aumento do poder de processamento computacional, aos avanços nas técnicas para lidar geometricamente com o problema e a utilização de algoritmos mais sofisticados e eficientes. Dowsland e Dowsland (1995), Hopper (2000), Nielsen e Odgaard (2003) e Bennell e Oliveira (2009) apresentam diversas pesquisas que abordam o problema bidimensional de encaixe com peças de formato irregular.

Bennell e Oliveira (2008) também publicaram um tutorial sobre as principais metodologias para lidar com as formas geométricas para os problemas de *nesting*¹⁰. Os autores definem de modo preciso as principais diferenças entre problemas denominados pela palavra em inglês *nesting* e outros problemas de corte e encaixe. Segundo Bennell e Oliveira (2008), *nesting* é uma área de pesquisa no campo de corte e encaixe, que trata dos problemas bidimensionais de encaixe de peças com formato irregular. Os autores ressaltam a grande diferença existente entre os problemas que envolvem peças com formato regular dos casos em que as formas são irregulares. A questão mais importante é o modo como as características geométricas vão influenciar as abordagens para

¹⁰ O termo *nesting* é traduzido neste trabalho pela palavra encaixe. É comum na tradução para o português dos termos *nesting* e *packing* a utilização da palavra empacotamento (MARTINS, 2007; DEL VALLE, 2010). Na área de moda, os termos em inglês mais empregados e que possuem o mesmo significado de *nesting* são *marker planning* (TYLER, 2008) e *marker making* (ALDRICH, 2014); e no português do Brasil e de Portugal o termo encaixe (ALDRICH, 2014; ARAÚJO, 1996).

resolver o problema. Apesar de haver um número infinito de diferentes retângulos, com larguras e comprimentos distintos, o fato de todas as peças serem retangulares permite reduzir no material que será cortado o número de posições possíveis para colocação. A infinita variedade de tamanhos e forma de polígonos irregulares fornece um desafio muito maior. Os autores evidenciam que uma aplicação para os problemas de peças com formato irregular deve incorporar na abordagem mecanismos para a redução do espaço de solução, de preferência, sem remover as melhores soluções. Além do aumento da complexidade das soluções possíveis, o cálculo de viabilidade da solução exige um tempo de processamento computacional significativamente maior. Por esse motivo, quando comparado à versão retangular do problema, muito menos soluções podem ser avaliadas no mesmo tempo de execução. Os autores destacam que a quantidade de publicações para o ano de 2006 não era condizente com a importância do problema para as indústrias. Eles acreditam que uma explicação para isso seja a dificuldade e o tempo necessário para desenvolver uma ferramenta geométrica que lide de modo eficiente com o problema.

No próximo subcapítulo são apresentadas duas abordagens geométricas distintas utilizadas para os problemas de encaixe bidimensional de formas irregulares: *raster* e polígono *no-fit*. Essas compreendem, segundo Baldacci *et al.* (2014), as abordagens geométricas mais utilizadas na literatura. Ambas também são predominantes nas pesquisas descritas neste trabalho.

3.2 ABORDAGENS GEOMÉTRICAS

O primeiro obstáculo que os pesquisadores dos problemas de encaixe precisam lidar é com a abordagem geométrica das peças com formato irregular. Bennell e Oliveira (2009) ressaltam que é preciso poder responder se dada a posição de duas peças sobre o material que será cortado, se essas peças estão sobrepostas, tocando-se ou distantes.

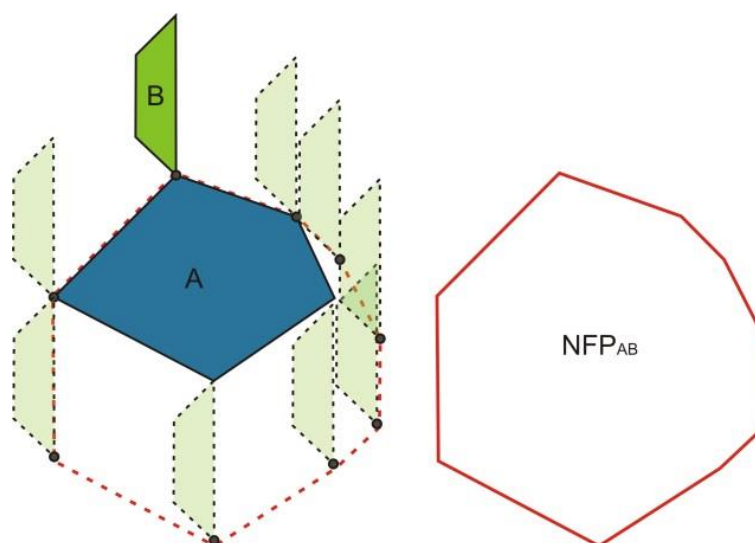
3.2.1 Polígono *no-fit*

O polígono *no-fit* é construído através de duas peças, por exemplo, *A* e *B*. O polígono *no-fit* de *A* e *B* (também chamado de NFP_{AB}) é resultante de uma operação de deslizamento entre as peças *A* e *B*. A peça *A* tem uma posição fixa e a peça *B* é o polígono que move em torno do perímetro da peça *A* para executar a etapa de

deslizamento. O NFP_{AB} cria um novo polígono em que as peças A e B sempre se tocam, mas nunca se sobrepõem. O conceito do polígono *no-fit* é empregado para indicar locais viáveis de inserção entre duas peças. Durante o encaixe é possível, através da verificação do ponto de referência da peça que está móvel, identificar a relação da peça móvel com outra peça que já está inserida no encaixe e saber se elas tocam-se, sobrepõem-se ou estão separadas. Os polígonos *no-fit* são calculados para pares de peças em uma etapa de pré-processamento. Assim, na etapa de encaixe já se têm as informações de todos os polígonos *no-fit* para cada peça que será encaixada. Para cada rotação permitida é calculado um polígono *no-fit* diferente (BENNELL e OLIVEIRA, 2008).

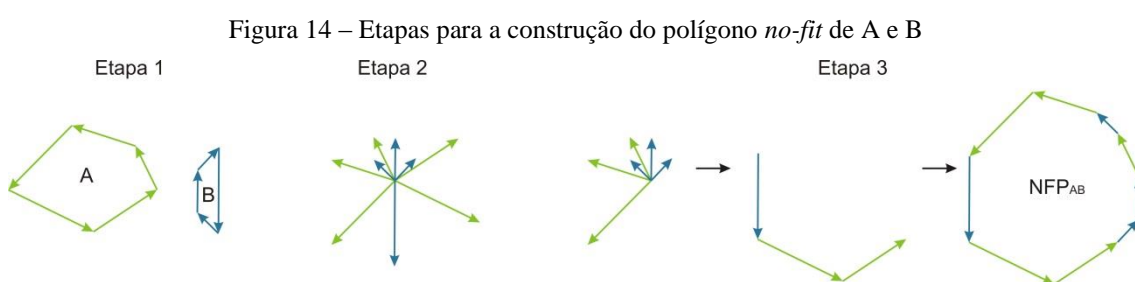
A Figura 13 mostra o polígono A (fixo), diversas posições do polígono B (móvel) ao redor do polígono A e o NFP_{AB} com contorno na cor vermelha (BENNELL, DOWSLAND e DOWSLAND, 2001). É possível perceber que em algumas posições a peça B está dentro do NFP_A e em outras situações não. A localização do ponto de referência da peça B (pequeno círculo na cor cinza) em relação ao contorno do NFP_{AB} indica a distância existente entre as peças A e B . Se o ponto de referência da peça B está dentro do NFP_{AB} significa que há sobreposição entre os polígonos. Caso o ponto de referência esteja sobre o contorno do NFP_{AB} as peças estão se encostando e se o ponto de referência tiver fora do contorno do NFP_{AB} , as peças estão distantes.

Figura 13 – Polígono *no-fit* de A e B



Fonte: Baseado em Bennell, Dowsland e Dowsland (2001)

Para construir o NFP_{AB} da figura anterior (fig. 13) é necessário três etapas sucessivas. Na primeira etapa, todas as arestas do polígono A são substituídas por vetores correspondentes, que são colocados no sentido anti-horário. O mesmo ocorre com o polígono B , porém os vetores são inseridos no sentido horário. Na segunda fase, todos os vetores dos dois polígonos são colocados em uma mesma origem, com a mesma direção e tamanho que tinham no polígono correspondente. Na terceira etapa, os vetores dos dois polígonos são unidos, o início de um vetor é colocado na extremidade do outro, seguindo a sequência dos vetores. A Figura 14 mostra as três etapas descritas.



Fonte: Baseado em Bennell, Dowsland e Dowsland (2001)

Bennell, Dowsland e Dowsland (2001) explicam que a construção do polígono *no-fit*, como mostrado na Figura 14, funciona para peças convexas, que não possuem concavidades em suas formas. Para peças não-convexas os autores sugerem outras possibilidades para calcular o polígono *no-fit*. Bennell e Oliveira (2008) descrevem que um inconveniente dessa abordagem geométrica são as dificuldades em desenvolver uma solução robusta que gere polígonos *no-fit* para peças não-convexas.

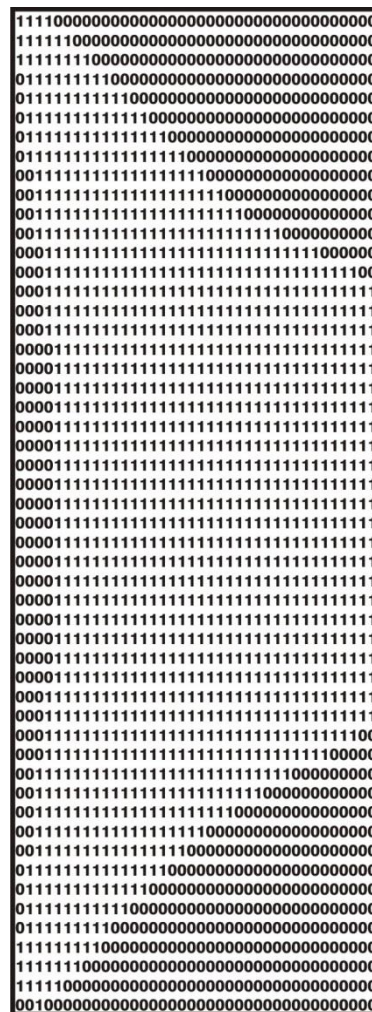
Uma das vantagens do polígono *no-fit* é a rápida identificação da relação de posição entre duas peças: se elas estão sobrepostas, se elas se tocam ou se estão afastadas (BURKE *et al.*, 2010). Porém, Baldacci *et al.* (2014) citam que uma das desvantagens do polígono *no-fit* é o elevado tempo de processamento computacional para calcular sobreposições quando áreas com defeitos no material que será cortado precisam ser consideradas. Por este motivo, optou-se por não utilizar o polígono *no-fit* na resolução do problema de encaixe de moldes em tecidos listrados. Apesar das listras não serem consideradas defeitos no tecido, elas precisam ser identificadas. Esse reconhecimento é semelhante ao que ocorre nas regiões que não podem ser utilizadas do material.

3.2.2 Raster

O método *raster*, também denominado de *pixel*, é uma abordagem que divide o material que será cortado e as peças que serão encaixadas em finitas partes de mesma dimensão. Essas partes são chamadas de *grids* e o conjunto de *grids* é denominado de matriz. A divisão das formas geométricas em *grids* contribui para a redução da informação geométrica dos polígonos. Diferentes autores têm implementado o conceito do método *raster* de maneiras distintas (BENNELL e OLIVEIRA, 2008).

Wong *et al.* (2009) e Oliveira e Ferreira (1993) usaram o valor 0 para *grids* vazios e o valor 1 para *grids* preenchidos. A Figura 15 mostra um exemplo de molde de um modelo de biquíni representado pelo método *raster*.

Figura 15 – Molde representado pelo método *raster*



Fonte: Wong *et al.* (2009)

A Figura 15 possui um retângulo envolvente ao polígono, os *grids* que representam espaços vazios contêm o número 0 e os *grids* do contorno e interior do polígono possuem o número 1. Esses números facilitam a etapa de encaixe, sendo necessário apenas passar a informação do número 0 ou 1 dos *grids* da peça para os *grids* do material que será cortado. As sobreposições também podem ser facilmente identificadas através da soma dos números dos *grids*. Assim, qualquer número maior que 1 indica sobreposição de peças (BENNELL e OLIVEIRA, 2008).

Segenreich e Braga (1986 *apud* BENNELL e OLIVEIRA, 2008) utilizam, além dos números 0 e 1, o número 3. O número 0 também representa *grids* vazios, porém o número 1 é utilizado para indicar os contornos dos polígonos e o número 3 representa o interior das peças. Os autores utilizaram esses números para facilitar na etapa de encaixe a verificação das posições entre duas peças: se estão sobrepostas, se tocam ou estão distantes. Se a soma de dois *grids* resultarem no número 4 significa que naquele *grid* há o contorno de uma peça sobre o interior de outra. Caso o resultado da soma seja 6, sabe-se que duas partes internas, representadas pelo número 3, estão sobrepostas. O número 2 representa a sobreposição de dois contornos. A Figura 16 mostra a representação de duas peças e uma tentativa de encaixe utilizando o método de Segenreich e Braga (1986 *apud* BENNELL e OLIVEIRA, 2008).

Figura 16 – Tentativa de encaixe de duas peças pelo método *raster*

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	=	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	1	3	3	3	3	1	1		0	0	0	0	1	3	3	3	3	1	1
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	1	3	3	3	3	1	1		0	0	1	0	1	3	3	3	3	1	1
0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	1	3	3	3	3	1	1		0	1	3	1	1	3	3	3	3	1	1
1	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	0	1	3	3	3	3	1	1		1	3	3	3	2	4	4	4	4	2	2
1	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1		0	0	0	0	1	3	3	3	3	1	1		1	3	3	3	4	6	6	6	2	2	2
0	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1		0	0	0	0	1	3	3	3	3	1	1		0	1	1	1	2	4	4	6	2	2	2
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1		0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2

Fonte: Segenreich e Braga (1986 *apud* BENNELL e OLIVEIRA, 2008)

O método *raster* apresentado por Segenreich e Braga (1986 *apud* BENNELL e OLIVEIRA, 2008) foi escolhido para ser utilizado nos algoritmos propostos na presente pesquisa e implementados no software Riscare Listrado. Anteriormente, esse método *raster* também já havia sido empregado no software Riscare para tecidos lisos. Optou-se por utilizar essa representação dos *grids* com os números 0, 1 e 3 pela possibilidade de identificação e diferenciação do interior dos moldes e do contorno das peças.

Bennell e Oliveira (2008) destacam que a principal vantagem do método *raster* é a movimentação de uma peça durante o encaixe, que é realizada pela simples contagem de *grids* na direção desejada. Etapas comuns no problema de encaixe, como a aproximação entre as peças ou a resolução de sobreposições podem ser resolvidas de um modo mais simples pelo método *raster*. Outro ponto positivo é a implementação, que permite trabalhar com peças convexas e não-convexas. Porém, os pontos negativos concentram-se no uso intensivo de memória e a dificuldade na representação exata de peças com arestas que não estão em ângulo reto. Para retratar com mais exatidão deve-se aumentar a quantidade de *grids* para representar as peças e o material que será cortado, porém eleva-se também o tempo de processamento computacional para verificar a viabilidade das soluções.

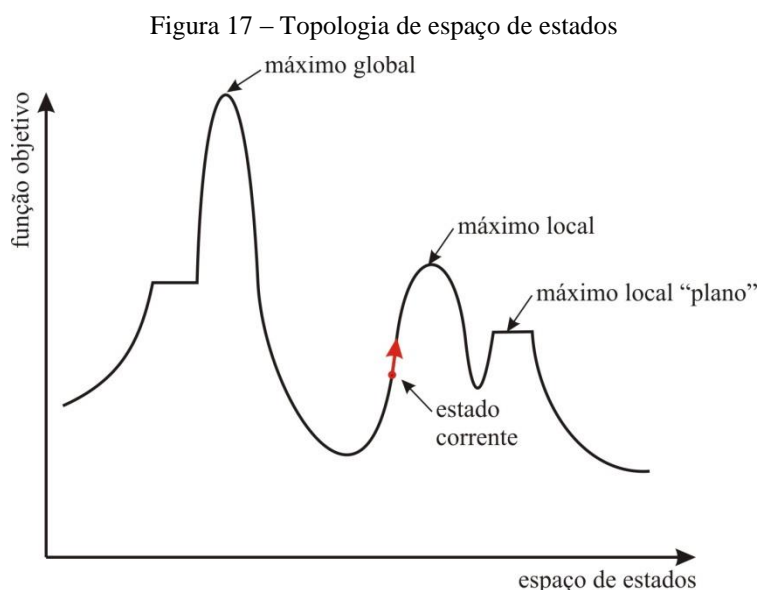
3.3 CONSTRUÇÃO DE ENCAIXES

Depois de lidar com a parte geométrica é o momento de construção dos encaixes. A maioria das soluções publicadas na literatura constrói diversos encaixes e seleciona o melhor – segundo um critério, geralmente melhor eficiência – como solução final. A característica do problema possuir um conjunto de peças que precisam ser colocadas sobre um material que será cortado, direciona a utilização de algoritmos de busca local (*local search*) no delineamento das soluções. Os algoritmos de busca local agem de modo iterativo, fazem pequenas alterações em uma solução (também denominadas de estado ou amostra) e criam diferentes possibilidades de encaixe das peças. Geralmente, os algoritmos de busca local são aplicados de duas formas diferentes para construir os encaixes: busca em uma sequência (*searching over a sequence*) e busca em um leiaute (*searching over the layout*). Cada uma dessas formas é explicada nos próximos subcapítulos, porém antes é apresentada uma introdução aos algoritmos de busca local (BENNEL e OLIVEIRA, 2009).

3.3.1 Algoritmos de busca local

Os algoritmos de busca local são utilizados em problemas de otimização, nos quais o objetivo é encontrar o melhor estado segundo uma função objetivo. Para os algoritmos de busca local o caminho percorrido até o objetivo não importa, interessa apenas o melhor resultado. Os algoritmos de busca local atuam em um único estado corrente e geralmente se movem apenas para os vizinhos desse estado. Russell e Norvig

(2004) descrevem que para compreender a busca local é importante considerar a topologia de espaço de estados. A Figura 17 apresenta um exemplo de topologia para um problema de maximização, assim o objetivo é encontrar o máximo global. Em um problema de minimização, o objetivo seria encontrar a parte mais baixa da topologia, ou seja, o mínimo global. Assim, a utilização dos termos ótimo global e ótimo local podem se referir a um mínimo ou máximo, dependendo do objetivo do problema (RUSSELL e NORVIG, 2004).



Fonte: Baseado em Russell e Norvig (2004)

Como mostrado no exemplo da Figura 17, os algoritmos de busca local podem encontrar diferentes situações quando procuram soluções. A topologia de espaço de estados auxilia a compreensão do algoritmo Busca de subida de encosta.

No algoritmo Busca de subida de encosta realizam-se buscas que se movem somente no sentido do valor crescente, ou seja, encosta acima. O algoritmo chega ao fim quando alcança um máximo (pico) em que nenhum vizinho tem o valor mais alto. Esse algoritmo também é conhecido como Busca gulosa local. Russell e Norvig (2004) descrevem que o sucesso do algoritmo Busca de subida de encosta depende muito da topologia do espaço de estados do problema. Os autores alertam que muitos dos problemas reais, geralmente os denominados NP-difíceis, possuem um elevado número de máximos locais. Porém, um máximo local com resultado próximo a um máximo

global pode ser localizado pelo algoritmo Busca de subida de encosta com certa periodicidade após um baixo número de reinícios (RUSSELL e NORVIG, 2004).

Assim, Russell e Norvig (2004) explicam que um algoritmo Busca de subida de encosta nunca “desce uma encosta”, ou seja, não aceita resultados que pioram o objetivo. Por essa razão, esses algoritmos são considerados incompletos. Por outro lado, algoritmos puramente aleatórios também são ineficientes. Dessa forma, são aconselhados algoritmos que combinam a subida da encosta com aleatoriedade.

Exemplos desse tipo de algoritmo, e citados por Bennell e Oliveira (2009) como os mais utilizados para os problemas de encaixe, são a Têmpera Simulada (*Simulated annealing*), Busca Tabu e Algoritmos Genéticos. Em uma das técnicas propostas nesta pesquisa também se optou por utilizar um algoritmo que combina a subida da encosta com aleatoriedade: o algoritmo Metropolis-Hastings, apresentado no final deste capítulo.

Russell e Norvig (2004) destacam que mesmo com a utilização desses algoritmos são necessárias várias formas de aleatoriedade para escapar dos muitos máximos locais, característica dos problemas de encaixe. É importante um elevado número de experimentos com o objetivo de encontrar um bom equilíbrio entre o caráter guloso e a aleatoriedade. Nos dois próximos subcapítulos são apresentadas, respectivamente, as duas formas que os algoritmos de busca local podem ser utilizados na construção do encaixe.

3.3.2 Busca em uma sequência

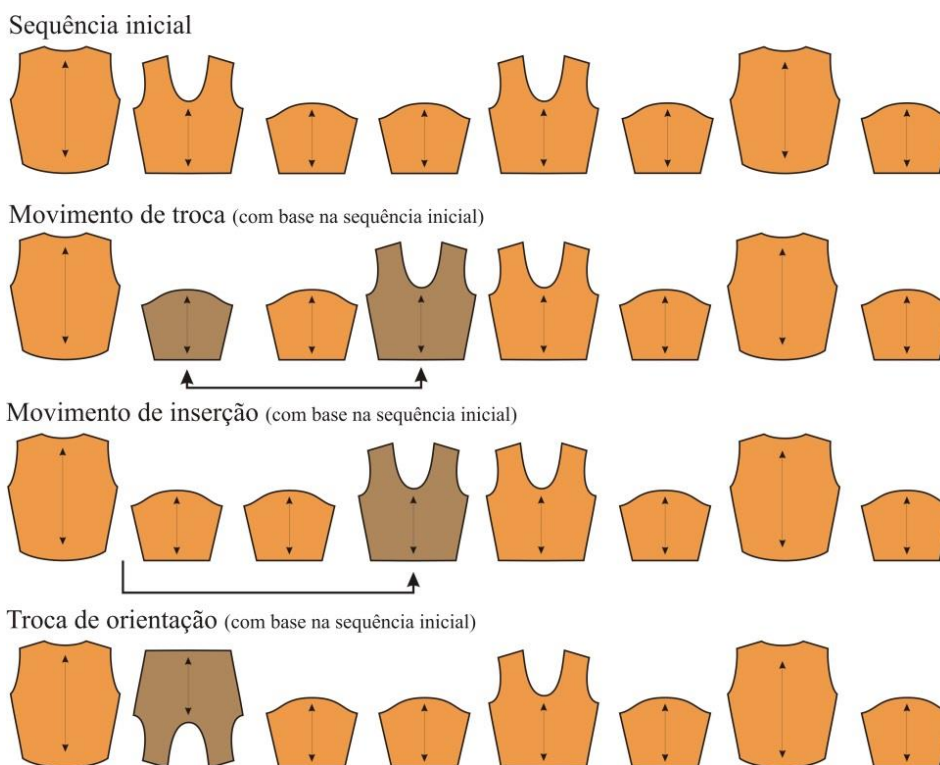
Quando uma sequência de peças é usada para representar uma solução, a avaliação de cada solução é realizada por meio da construção do leiaute a partir dessa sequência. Para construir o leiaute e definir a localização exata de cada peça utilizam-se regras de colocação. A mais popular e amplamente usada regra de colocação é o *bottom-left* (BENNEL e OLIVEIRA, 2009).

A técnica *bottom-left* consiste em inserir as peças mais para a esquerda e para baixo no espaço disponível do material que será cortado. Cada peça é movida horizontalmente para a esquerda e verticalmente até ser capaz de se mover novamente no sentido horizontal. A peça encontra uma posição final quando não pode mais se deslocar porque toca em outra peça ou alcançou o limite superior e/ou lateral do material. O conceito da técnica *bottom-left* pode ser aplicado para outras direções, como

superior e direita (GOMES e OLIVEIRA, 2006; BENNELL e OLIVEIRA, 2009). Por ser uma regra de colocação muito conhecida e amplamente utilizada, decidiu-se também utilizar o *bottom-left* nas técnicas de encaixe propostas nesta pesquisa.

Definida a regra de colocação, é preciso trabalhar a sequência de peças através da busca local. Quando uma busca local é aplicada, as estratégias mais comuns de busca do vizinho incluem: movimentos de troca e movimentos de inserção. O movimento de troca muda a posição de duas peças na sequência. O movimento de inserção remove uma peça da sua posição corrente e a insere em algum outro local da sequência. Para as peças que têm rotação permitida durante o encaixe é possível mudar também a orientação da peça na sequência. A Figura 18 exemplifica esses três movimentos a partir de uma sequência inicial de moldes. Na primeira linha da Figura 18 está a sequência inicial de moldes (peças). Na segunda linha é feito um movimento de troca entre o segundo e o quarto molde. Na terceira linha ocorre um movimento de inserção do molde que estava na segunda posição para a quarta posição. Na quarta linha o molde que está na segunda posição tem troca de orientação, passando de 0° para 180° (BENNELL e OLIVEIRA, 2009).

Figura 18 – Sequência inicial e movimentos de troca, inserção e rotação



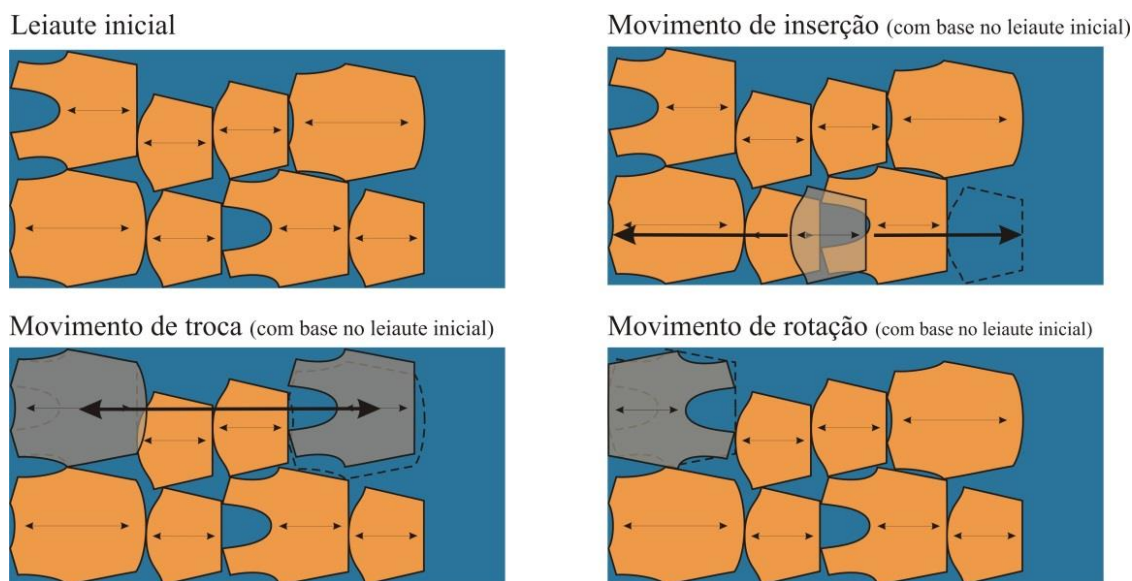
Fonte: Baseado em Bennell e Oliveira (2009)

Independente da sequência e da forma como ela for definida, neste tipo de construção do encaixe é preciso dispor as peças no material que será cortado, através de uma regra de colocação, para poder avaliar a eficiência de cada uma das soluções. A Busca em uma sequência foi a forma escolhida para avaliar as soluções no algoritmo de encaixe proposto neste trabalho utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings. Contribuiu para essa decisão o fato de que alguns autores citados ao longo deste capítulo, que utilizam o método Busca em um leiaute, relatam a dificuldade em garantir com precisão encaixes finais sem sobreposições.

3.3.3 Busca em um leiaute

Neste tipo de construção do encaixe, parte-se de um encaixe inicial e realizam-se movimentos nas peças dentro do próprio material que será cortado. Os movimentos de troca, rotação e inserção são semelhantes aos descritos no método de construção anterior. É possível mover uma única peça ou um conjunto de peças. Esse movimento caracteriza-se por remover a peça de seu local atual e inseri-la em um novo local no material que será cortado. Geralmente, se há movimentação de mais de uma peça, isso ocorre através da troca de posição de duas ou mais peças. O outro movimento pode ser obtido através da rotação de uma peça no encaixe. A Figura 19 exemplifica esses três possíveis movimentos. A imagem superior esquerda da Figura 19 mostra o leiaute inicial. A imagem inferior esquerda mostra a troca de dois moldes. A imagem superior direita expõe a movimentação de um molde no sentido horizontal. A imagem inferior direita mostra a troca de orientação de um molde, passando de 0° para 180° . Todos os exemplos, movimentos de troca, inserção e rotação são baseados no leiaute inicial (imagem superior esquerda). Na Figura 19 as linhas tracejadas representam o desenho do molde que foi removido para ser inserido em outro local e as setas as direções do movimento dos moldes. Os desenhos dos moldes também foram mantidos com leve transparência para facilitar a visualização das sobreposições com os outros moldes. É possível verificar essas sobreposições entre os moldes nos exemplos de movimento de troca e movimento de inserção da Figura 19 (BENNELL e OLIVEIRA, 2009).

Figura 19 – Leiaute inicial e movimentos de troca, inserção e rotação



Fonte: Baseado em Bennell e Oliveira (2009)

Como se pode perceber na Figura 19, nesse tipo de construção do encaixe é preciso aceitar soluções inviáveis, que contêm sobreposições entre as peças, durante a busca local. Bennell e Oliveira (2009) ressaltam que a vantagem das soluções com sobreposições é que elas têm maior possibilidade de criar encaixes mais compactados. O ponto negativo é que a busca local pode acabar em ótimos locais sem sobreposições e não encontrar um ótimo global.

3.4 ABORDAGENS PARA OS PROBLEMAS BIDIMENSIONAIS DE ENCAIXE DE PEÇAS IRREGULARES

3.4.1 GLSHA¹¹ e SAHA¹²

Gomes e Oliveira (2006) abordaram o problema geométrico através do polígono *no-fit*. Os autores constroem o encaixe inicial através de uma sequência de peças e pela colocação heurística *bottom-left*.

Para ordenar a sequência inicial das peças, os autores empregam o critério do comprimento aleatório ponderado. Esse critério gera a sequência das peças pela seleção

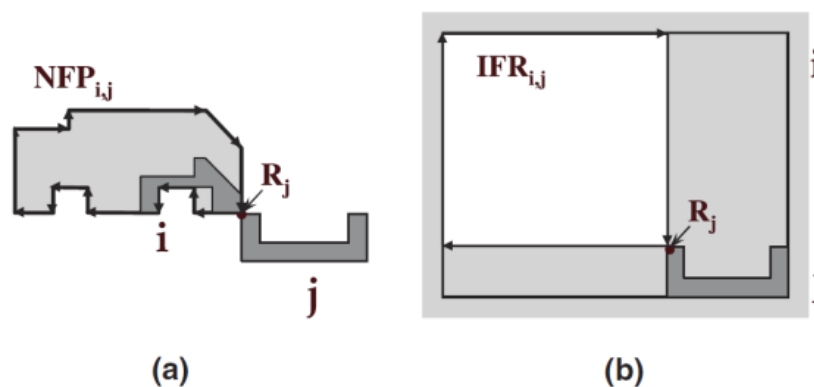
¹¹ *Greedy local search hybrid algorithm*

¹² *Simulated annealing hybrid algorithm*

aleatória, sendo que a probabilidade de seleção de uma peça é proporcional ao comprimento da peça.

Para inserir cada peça é definido um conjunto de pontos candidatos de colocação que consideram o polígono *no-fit* e o retângulo *inner-fit*¹³. A partir desse conjunto, os pontos que levam a colocações inviáveis, ou seja, pontos que estão no interior de qualquer polígono *no-fit* ou no exterior do retângulo *inner-fit*, são eliminados. Assim, é obtido um conjunto admissível de pontos para colocação da peça. Essa heurística é descrita mais detalhadamente em Gomes e Oliveira (2002). A Figura 20, publicada em Gomes e Oliveira (2006), mostra o polígono *no-fit* de duas peças e o retângulo *inner-fit* da peça J com o espaço retangular de encaixe denominado de I.

Figura 20 – Exemplos do polígono *no-fit* e do retângulo *inner-fit*: (a) Polígono *no-fit* NFPIJ; (b) Retângulo *inner-fit* IFRIJ



Fonte: Gomes e Oliveira (2006)

Cabe lembrar que o polígono *no-fit* e o retângulo *inner-fit* podem ser computados em uma fase de pré-processamento, uma vez que dependem apenas da forma das peças e não do lugar ocupado pelas peças no encaixe. Quando diferentes orientações são permitidas, é necessário calcular o polígono *no-fit* para cada par de diferentes orientações e um retângulo *inner-fit* para cada orientação.

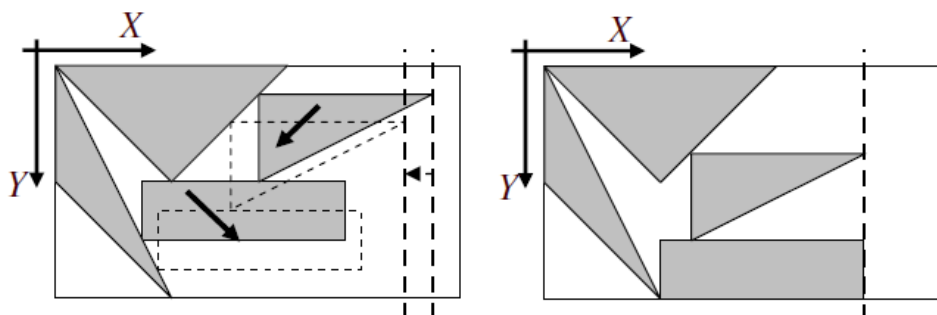
Gomes e Oliveira (2006) descrevem também que um dos mais eficientes métodos para obtenção de encaixes são os modelos de compactação de programação

¹³ O conceito do retângulo *inner-fit* tem sua origem na concepção do polígono *no-fit* e representa um conjunto de pontos viáveis para a colocação de um polígono dentro de um retângulo. Esse conceito é utilizado para garantir que todas as peças são colocadas no interior do leiaute de encaixe (GOMES e OLIVEIRA, 2006).

linear. Modelos de compactação podem melhorar os encaixes através da aplicação de um ajuste contínuo de coordenação entre as peças. Em um encaixe compactado as posições relativas de pares de peças são mantidas, isso significa que se antes da compactação uma peça está do lado esquerdo, essa posição relativa irá se manter também depois da compactação, embora a posição exata da peça possa ser completamente diferente. Durante esse procedimento não é permitida sobreposição entre as peças nem rotações. O deslocamento deve ser contínuo, ou seja, as peças não podem pular por cima de outras peças.

Para usar modelos de compactação é necessário um encaixe inicial viável. Após, analisa-se o encaixe e estabelecem-se relações de posicionamento entre cada par de peças. Em um segundo momento, o modelo é resolvido por programação linear. Na etapa final, é novamente analisado, a fim de detectar novas possibilidades de compactação. O processo é iterativo, já que após uma compactação, peças são posicionadas em diferentes coordenadas o que pode permitir novas melhorias. O processo termina quando nenhuma melhora no encaixe é alcançada. A Figura 21 apresenta um exemplo de compactação. As peças em cinza da Figura da esquerda apresentam o encaixe antes da compactação. Através da movimentação dessas peças consegue-se diminuir o comprimento utilizado do material que será cortado. As peças com contorno tracejado exemplificam novas posições depois da compactação. A Figura da direita mostra as peças encaixadas após outra compactação, pode-se perceber que a utilização do comprimento do tecido é ainda menor.

Figura 21 – Exemplo de compactação

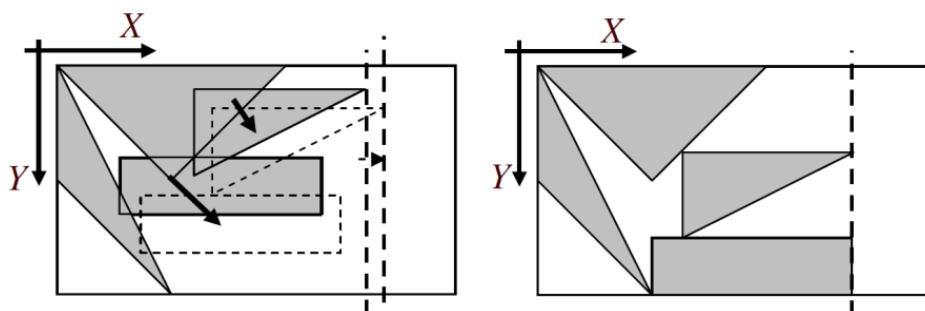


Fonte: Gomes e Oliveira (2006)

Baseados no modelo de compactação, Gomes e Oliveira (2006) também implementaram um outro modelo de programação linear, o modelo de separação. O

modelo de separação remove qualquer situação de sobreposição através do deslocamento de peças que se sobrepõem. Como no modelo de compactação, isso é feito pela aplicação do deslocamento das peças por um conjunto de coordenadas contínuas. O principal inconveniente do modelo de separação é a falta de garantia de que a sobreposição foi removida, porém os autores destacam que na prática quase todos os encaixes são efetivamente separados. Os autores se basearam nos trabalhos de Li e Milenkovic (1995) e Bennell e Dowsland (2001) para propor os modelos de compactação e separação. A Figura 22 apresenta um exemplo do modelo de separação. Na Figura da esquerda há sobreposição entre todas as peças, os contornos em tracejado mostram novas posições após a separação. Porém, só há a resolução de algumas sobreposições, assim, é possível perceber a sobreposição das peças com contornos tracejados sobre as peças na cor cinza. Após uma nova etapa de separação todas as peças estão sem sobreposição, como aparece na Figura da direita.

Figura 22 – Exemplo de separação

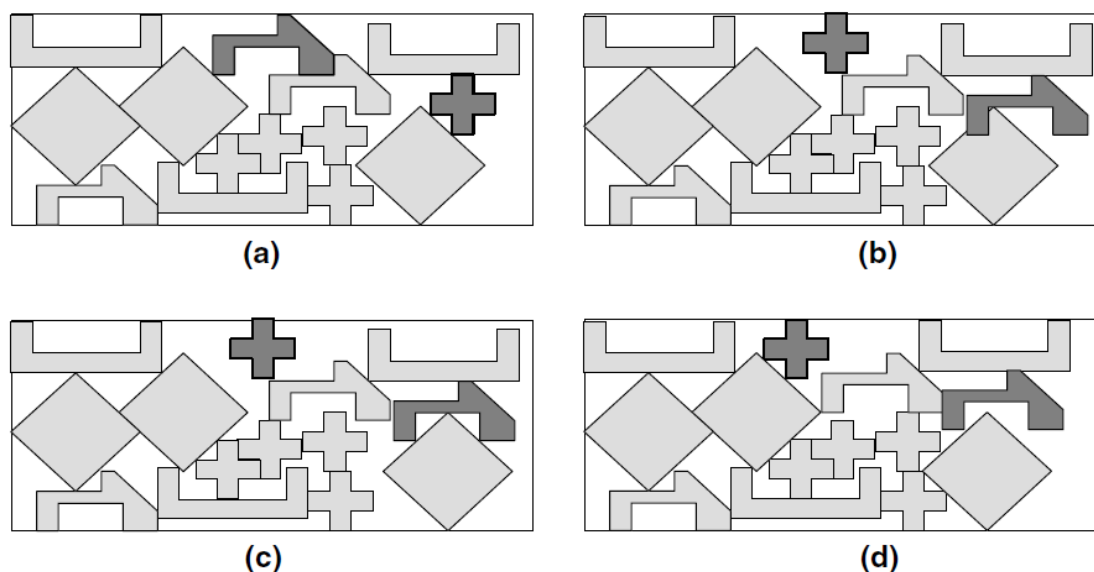


Fonte: Gomes e Oliveira (2006)

Gomes e Oliveira (2006) também propuseram uma estrutura de vizinhos baseados nos algoritmos de compactação e separação. Os autores ressaltam que o uso adequado da estrutura de vizinhos é um fator decisivo para obter uma meta-heurística de sucesso. A principal vantagem do modelo de compactação é a habilidade eficiente de obter encaixes com mínimo local. Contudo, carece a habilidade para qualquer tipo de busca de um ótimo global, uma vez que não é permitido que as peças pulem umas sobre outras e encaixes com sobreposições temporárias também não são permitidos. Por outro lado, a principal vantagem do modelo de separação é a habilidade para remover sobreposições e então obter possíveis, embora esparsos, encaixes. Através dessas considerações, os autores definiram que era preciso permitir que uma ou mais peças

pulem sobre outras peças, para que a busca produza encaixes com diferentes relações entre pares de peças. A Figura 23 apresenta um exemplo da estrutura de vizinhos proposta por Gomes e Oliveira (2006) em que as peças pulam e trocam de local.

Figura 23 – Exemplo da estrutura de vizinhos: (a) duas peças são seleccionadas randomicamente; (b) troca-se a posição das peças seleccionadas; (c) aplica-se o algoritmo de separação; (d) aplica-se algoritmo de compactação



Fonte: Gomes e Oliveira (2006)

Assim, os autores optaram pela troca de posição de duas peças no encaixe. Porém, sobreposições são geralmente criadas, contudo, elas podem ser removidas pela aplicação do modelo de separação. Depois, o encaixe é compactado pelo modelo de compactação em busca de uma solução com mínimo local. Caso o modelo de separação fracasse, troca-se novamente duas diferentes peças. Os autores destacam a importância da rotação das peças no encaixe e evidenciam que no momento que uma peça troca de lugar, é possível também selecionar uma orientação diferente. A seleção da orientação, para um par de peças, é feita pela tentativa de todas as combinações de pares de orientação admissíveis. O par de orientações que obtiver a melhor eficiência no encaixe é selecionado.

Gomes e Oliveira (2006) também propõem um algoritmo híbrido que utiliza a Têmpera simulada (*simulated annealing*) para guiar a busca, no espaço de soluções, por um ótimo global. A Têmpera simulada ou recozimento simulado é baseado no processo de recristalização de átomos em um metal durante o processo de recozimento, um

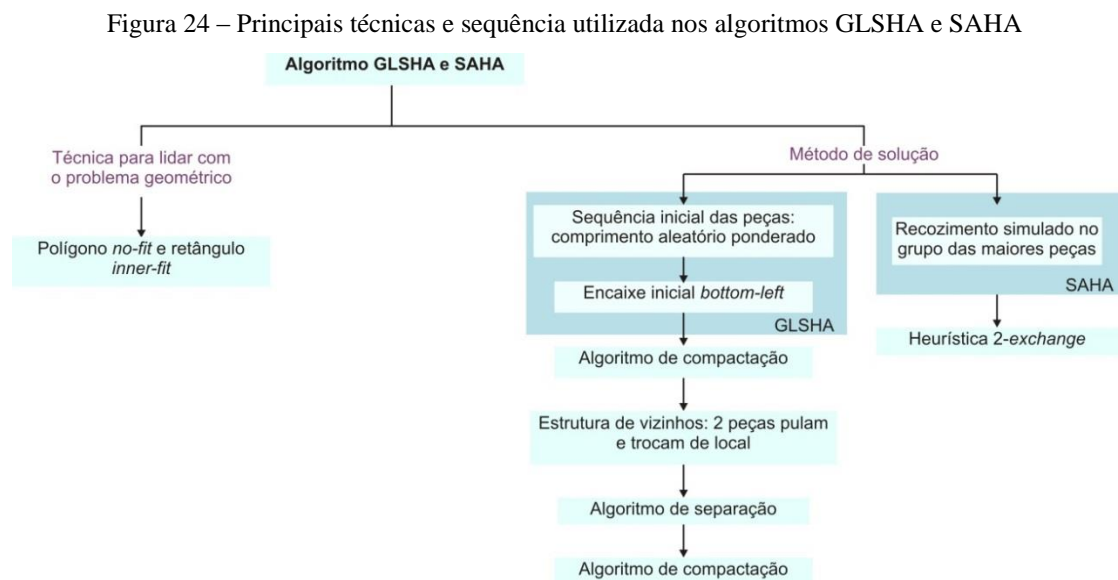
exemplo natural do problema de encaixe. O recozimento simulado é uma meta-heurística probabilística de exploração local que analisa a cada iteração uma solução do problema. A solução corrente é comparada com a solução da iteração anterior, e com base nas regras da heurística, uma nova solução é gerada para a próxima iteração (MARTINS e TSUZUKI, 2010).

Como muitos dos problemas benchmarks da literatura são da indústria do vestuário, Gomes e Oliveira (2006) também propõem uma abordagem que considera as características do problema. Uma das especificidades dos problemas do encaixe na indústria do vestuário é a existência de uma grande diversidade de tamanhos de peças. Nesses casos, o comprimento do encaixe é quase totalmente determinado pela colocação das maiores peças, enquanto as menores peças podem ser facilmente colocadas nos espaços que sobram das outras. Assim, a abordagem dos autores considera várias etapas e para tentar lidar de forma vantajosa com essa característica.

A abordagem em várias fases divide as peças disponíveis em dois grupos, de acordo com seus respectivos tamanhos: um grupo com as maiores peças e outro grupo com as menores peças. Um parâmetro, que é uma porcentagem do tamanho da maior peça, controla o processo de divisão. O processo de dividir as peças em dois grupos pode ser recursivamente usado para criar mais grupos. Contudo, a ideia é não dividir as peças em mais do que 3 ou 4 grupos. Para cada estágio, um diferente grupo de peças é encaixado, começando pelo grupo com as maiores peças. Para o segundo e subsequentes estágios, o algoritmo escolhido para encaixar as peças precisa considerar as peças que foram encaixadas nas fases anteriores.

Como os resultados do primeiro estágio são decisivos para a qualidade global da solução final, a implementação proposta no artigo é um algoritmo híbrido, baseado no recozimento simulado, aplicado no estágio mais importante. Contudo, para os estágios seguintes, um rápido algoritmo híbrido, baseado em uma simples busca local é usado: a heurística *2-exchange*, proposta em Gomes e Oliveira (2002). A heurística *2-exchange* é uma busca local simples, após definida uma sequência de peças, seleciona uma peça e troca com outras peças da sequência. Cada estágio começa usando *o bottom-left* para encaixar as peças. A abordagem em mais de uma fase proposta por Gomes e Oliveira (2006) e que aplica algoritmos diferentes dependendo do tamanho dos moldes também foi utilizada em uma das técnicas proposta nesta pesquisa: algoritmo de encaixe com

etapa de pré-processamento. A Figura 24 apresenta de forma esquemática as principais técnicas e a sequência utilizada pelos algoritmos GLSHA e SAHA.



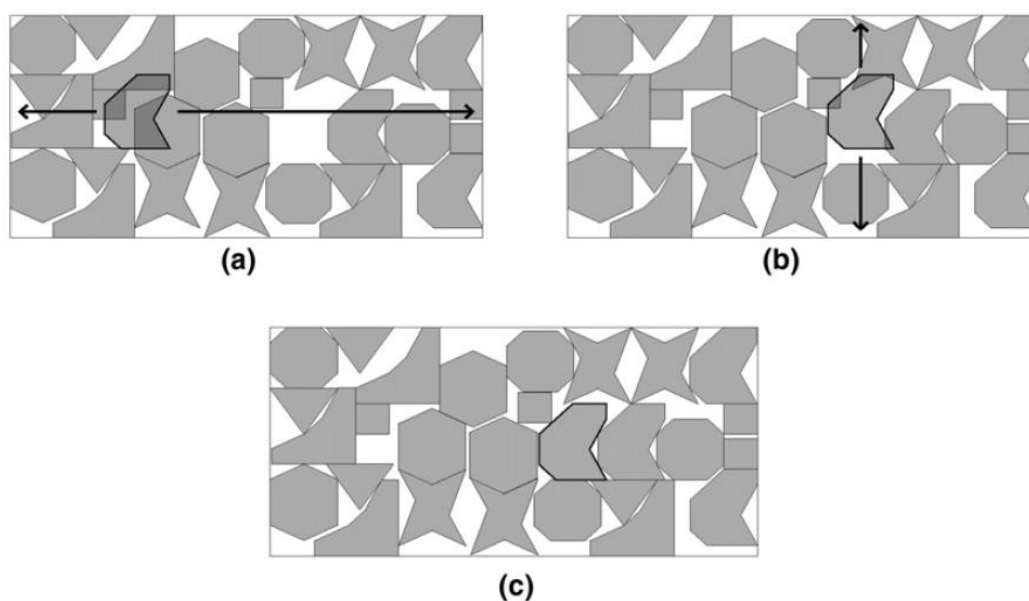
Fonte: a Autora

3.4.2 2DNest

O algoritmo denominado de 2DNest, proposto por Egeblad, Nielsen e Odgaard (2007), é uma solução heurística para o problema bidimensional de encaixe. O algoritmo básico implementado pelos autores segue uma sequência de etapas. Primeiro é definido um encaixe inicial através de uma heurística rápida, que combina o retângulo envolvente e o *bottom-left*. Em um segundo passo o comprimento do encaixe é reduzido por algum valor, esse valor é baseado em um percentual do comprimento do encaixe atual. Depois de reduzir o comprimento, algumas peças já não estão mais dentro do encaixe e precisam ser movidas para outros locais. Os autores aplicam na terceira etapa uma busca local para movimentar as peças e reduzir a sobreposição. Quando o comprimento do encaixe está fixo, inicia-se a pesquisa para uma solução sem sobreposição. Para executar a busca local uma peça troca de local no encaixe. Em cada iteração a busca local pode aplicar quatro tipos de trocas: movimento horizontal da peça, movimento vertical da peça, rotação e espelhamento da peça. A nova posição, ângulo ou espelhamento é escolhido de tal forma que a sobreposição com todas as outras peças seja minimizada. O novo encaixe é criado pela redução do total de sobreposições. O processo é repetido consecutivamente até encontrar um mínimo local.

Assim, em cada iteração da busca local uma peça é movida para diminuir a quantidade total de sobreposições. Se a colocação sem sobreposição é encontrada para o comprimento corrente então foi encontrada uma solução e o comprimento do encaixe pode ser novamente reduzido para tentar encontrar melhores soluções. A Figura 25 apresenta um exemplo da busca local para uma determinada peça e os movimentos horizontais e verticais executados para encontrar um local sem sobreposição. Na Figura 25a uma peça está sobreposta com muitas outras peças e é selecionada para trocar de lugar, a busca local move a peça horizontalmente para uma nova posição com o mínimo de sobreposição. Na Figura 25b, a busca local está em uma próxima iteração (iniciada na Figura 25a e pode continuar a busca de um novo local para a peça através de um movimento vertical). Na Figura 25c a busca local alcança uma solução possível, em que não há sobreposição entre as peças.

Figura 25 – Exemplo de iterações em uma busca local



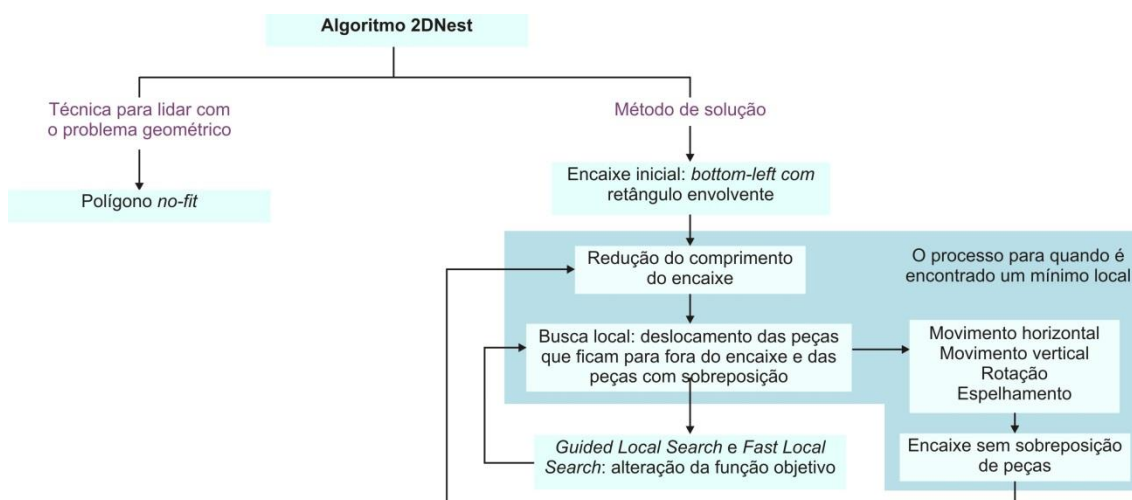
Fonte: Egeblad, Nielsen e Odgaard (2007)

No trabalho publicado por Egeblad, Nielsen e Odgaard (2007) destaca-se que o maior problema da busca local é que ela pode ficar presa em um mínimo local. Assim, é necessário escapar do mínimo local. Para escapar do mínimo local os autores aplicaram a meta-heurística *Guided Local Search* (GLS). Essa heurística altera a função objetivo usada na busca local para reduzir a sobreposição e então repete a busca local. O elemento chave do GLS são as penalidades. É definida uma função para as penalidades

e sempre que a busca local alcança um mínimo local há um aumento da função objetivo. Os autores ainda melhoraram a eficiência do GLS usando o *Fast Local Search*.

No trabalho apresentado por Egeblad, Nielsen e Odgaard (2007) eles ressaltam que a abordagem deles para o problema considera variações do problema e restrições especiais, como a possibilidade de lidar com materiais com regiões de diferentes qualidades. Essa necessidade existe na indústria do couro, na qual a matéria-prima deve ser dividida em regiões de qualidade. Para algumas peças pode ser necessária uma qualidade específica e, portanto, a peça deve ficar confinada nessas regiões. Para resolver esse problema os autores representam cada região através de um polígono e marcam cada um desses polígonos com um valor positivo descrevendo sua qualidade. Se uma determinada peça precisa ser de uma qualidade específica, os polígonos que identificam as regiões de qualidades inferiores são incluídos durante o cálculo de sobreposição com o elemento. Assim, evita-se que a peça seja colocada em uma região diferente do que a requerida. A Figura 26 apresenta de modo esquemático as técnicas e a sequência empregada por Egeblad, Nielsen e Odgaard (2007) no algoritmo 2DNest.

Figura 26 – Principais técnicas e sequência utilizada no algoritmo 2DNest



Fonte: a Autora

3.4.3 Polígono *no-fit* com linha e arco

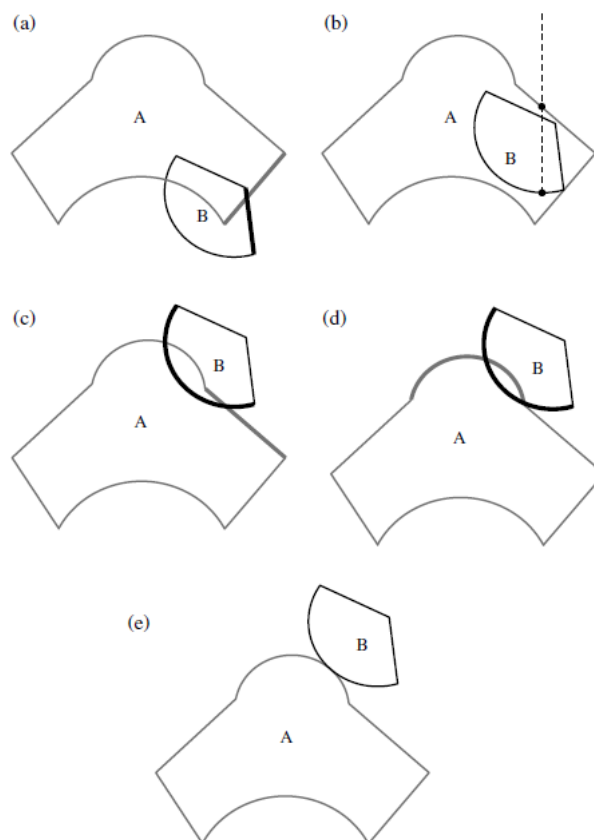
Outra pesquisa relevante para a área e que obteve continuidade é o trabalho apresentado em Burke *et al.* (2006). Os autores destacam a diversidade de abordagens para o problema do encaixe bidimensional de formas irregulares. Entre essas abordagens, ressaltam que as melhores soluções tem usado a técnica do polígono *no-fit*

para gerar potenciais lugares de posições e ou testar sobreposições. Burke *et al.* (2006) citam o trabalho de Gomes e Oliveira (2002) como exemplo de emprego do polígono *no-fit*. Enquanto o polígono *no-fit* é uma poderosa técnica geométrica, os autores ressaltam que há muitas questões que fazem o seu uso limitado para aplicações industriais. Situações conhecidas em que o algoritmo polígono *no-fit* pode fracassar: preenchimento de buracos, formas com concavidades, e formas tipo quebra-cabeça (*jigsaw*), onde uma forma ajusta exatamente dentro da concavidade de outra forma. Além disso, os autores destacam como ponto negativo o *no-fit* aproximar arcos através de uma sequência de linhas.

Burke *et al.* (2006) apresentam uma abordagem geométrica capaz de lidar com formas compostas tanto por linhas quanto por arcos não aproximados e com habilidade para conduzir de forma rápida operações de intersecção precisas. Os autores calculam a distância necessária de deslocamento a partir da intersecção das linhas de duas peças que estão sobrepostas. Assim, eles resolvem a intersecção por linhas ou arcos e não por peças, o que pode ocasionar a necessidade de cálculo de mais de uma intersecção para mover uma determinada peça para uma posição sem sobreposição.

A Figura 27 mostra o deslocamento vertical de uma peça através da resolução de intersecções entre as arestas. Para a peça que está sendo deslocada são necessárias cinco etapas para que as peças não estejam mais sobrepostas. Quanto mais arestas as peças tiverem, provavelmente também seja maior o número de resolução de intersecções necessárias. Na Figura 27a duas arestas do polígono B estão sobrepostas a duas arestas do polígono A. A primeira aresta em que é resolvida a sobreposição, é a aresta lateral direita do polígono B. A peça B é movida (Fig. 27b) até que a aresta lateral direita não tenha mais nenhuma sobreposição. Porém, como ocorre na Figura 27b, apesar da aresta lateral da peça B não sobrepor mais nenhuma aresta da peça A, ocorre a sobreposição das peças. Assim, é traçada uma linha vertical pela peça A e B e definido um ponto de referência. Esse ponto de referência na peça B é deslocado até o ponto de referência da peça A também situado sobre o eixo vertical. A Figura 27c apresenta as peças A e B após o deslocamento. Porém, a peça B continua sobrepondo a peça A, para resolver a sobreposição das duas peças ainda será necessário dois movimentos semelhantes ao anterior que são exemplificados nas Figuras 27d e Figuras 27e.

Figura 27 – Resolução da intersecção de arestas pelo deslocamento vertical



Fonte: Burke *et al.* (2010) baseado em Burke *et al.* (2006)

Com o cálculo de resolução de sobreposição das peças definido, Burke *et al.* (2006) estabelecem a nova proposta para o algoritmo de colocação, o *bottom-left-fill*. É determinado um tamanho para o material que será cortado e uma sequência de entrada de peças com as rotações permitidas. É colocada a primeira peça no canto inferior esquerdo, na sua mais eficiente orientação, a orientação que gera a menor largura do retângulo que delimita a peça dentro do conjunto de critérios de rotação. Com as peças subsequentes, se uma cópia desta peça ainda não foi inserida, inicia-se no ponto mais para baixo do canto esquerdo da folha. Se uma cópia da peça já foi atribuída ao encaixe, então a nova cópia começa a partir de onde a cópia anterior da peça foi colocada. Um local válido para o posicionamento é encontrado por meio de testes de intersecções. Se a peça não é intersectada por outras já inseridas, ela pode ser atribuída ao encaixe. Caso no processo de resolução de sobreposições da peça atinja o limite da largura no material, então se retorna para o ponto mais baixo e é incrementado ao longo do eixo x um determinado valor positivo, conhecido como resolução. O processo é contínuo até

que a peça não se intersecte com outras e que possa ser inserida ao encaixe. O encaixe é concluído quando todas as peças foram atribuídas ao material que será cortado. O processo de deslocamento das peças nos eixos y e x descrito em Burke *et al.* (2006) foi utilizado de modo semelhante em ambos os algoritmos propostos na presente pesquisa.

Em Burke *et al.* (2006) as peças são sempre encaixadas pela ordem em que aparecem na sequência de entrada. Para definir essa sequência, os autores definiram os critérios de ordenamento em: comprimento e área decrescente. Após esse ordenamento inicial foi aplicada uma busca local para gerar novas ordens de entrada. Os autores implementaram as meta-heurísticas *hill-climbing*¹⁴ e busca tabu para encontrar vizinhos de qualidade maior.

No *hill-climbing* se um vizinho melhor é encontrado, esse é adotado como solução corrente e a pesquisa continua. Se um vizinho não melhora a solução corrente, é descartado e a pesquisa continua com outros vizinhos. A melhor solução é retornada no fim da pesquisa. O *hill-climbing* é um método de busca local, ou seja, explora as soluções de modo sequencial e salta de uma solução para outra vizinha, possivelmente mais interessante. Para escapar dos mínimos locais os autores fizeram modificações aleatórias na avaliação da função objetivo (MARTINS, 2007; BURKE *et al.*, 2006).

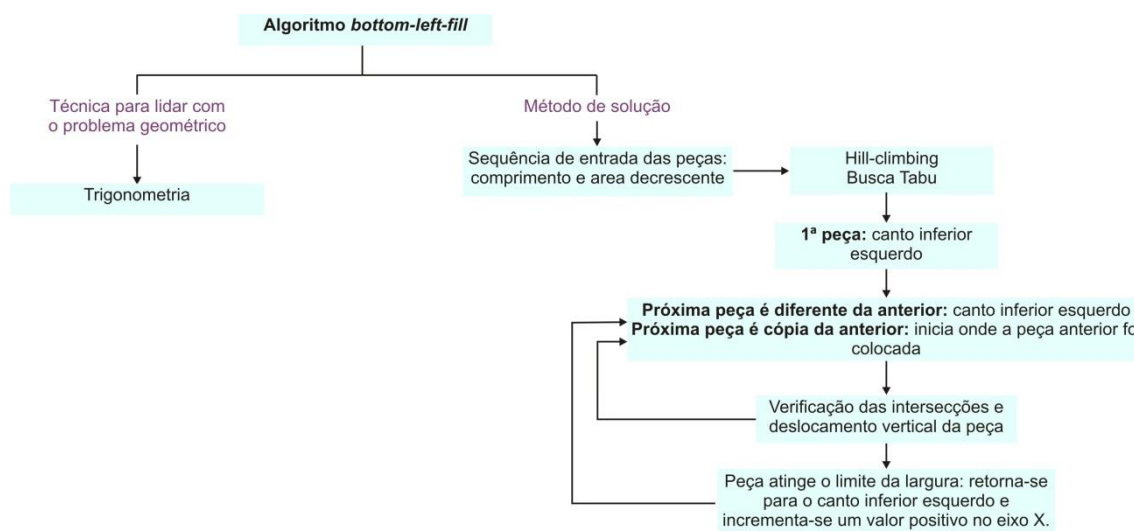
A busca tabu implementada no trabalho de Burke *et al.* (2006) é similar ao descrito em Glover, Taillard e Werra (1993). O processo gera um dado número de vizinhos e utiliza a melhor solução para criar novos vizinhos em uma nova vizinhança. O ciclo é iterativo e o uso da lista tabu significa que soluções vistas recentemente dentro de uma lista não podem ser utilizadas. Burke *et al.* (2006) definiram o tamanho da vizinhança em cinco soluções e uma lista tabu de 200 soluções.

Os autores empregaram operadores usados nas técnicas de busca e denominados de: 1 Opt, 2 Opt, 3 Opt, 4 Opt e N Opt. O operador 1 Opt remove uma peça, escolhida de modo aleatório, e a insere em uma localização randômica na sequência. O operador 2 Opt troca duas peças na sequência através de uma escolha randômica. Esse procedimento é estendido para o 3 Opt e 4 Opt, onde formas são aleatoriamente selecionadas e trocadas de local na sequência. O operador N Opt seleciona um número randômico de formas para serem trocadas e tem uma probabilidade de produzir soluções radicalmente diferentes para diversificar a pesquisa. Cada operador tem uma chance de

¹⁴ Pode ser traduzido para o português como Busca de subida de encosta (RUSSELL e NORVIG, 2004).

seleção diferente, o operador 1 Opt tem uma grande chance de ser selecionado, enquanto o operador N Opt, tem uma pequena chance de ser escolhido. Isso é decorrente do fato de que operadores, que fazem pequenas trocas, permitem concentrar as buscas, enquanto os operadores que trocam muitas peças são capazes de escapar dos ótimos locais. Com a técnica descrita em Burke *et al.* (2006) resolve-se a maioria dos problemas em um período de cinco minutos. A Figura 28 apresenta de modo esquemático as técnicas e a sequência empregada por Burke *et al.* (2006) no algoritmo *bottom-left-fill* proposto pelos autores.

Figura 28 – Técnicas e sequência empregada no algoritmo *bottom-left-fill*



Fonte: a Autora

Em Burke *et al.* (2007) os autores implementaram um método orbital robusto para a criação de polígonos *no-fit* que não sofre com problemas típicos encontrados em outras abordagens publicadas na literatura. O algoritmo envolve dois simples estágios geométricos, que segundo os autores, são fáceis de entender e implementar, apesar do cálculo para peças não-convexas ser significativamente complexo. A abordagem proposta pode lidar com buracos e formas de quebra-cabeças. Os autores destacam que a produção do polígono *no-fit* é academicamente desafiadora, e ele é uma ferramenta e não a solução. Talvez essa seja uma das razões porque há muitas publicações na literatura que declaram que o polígono *no-fit* é usado, mas que fornecem relativamente poucos ou nenhum detalhes sobre sua implementação.

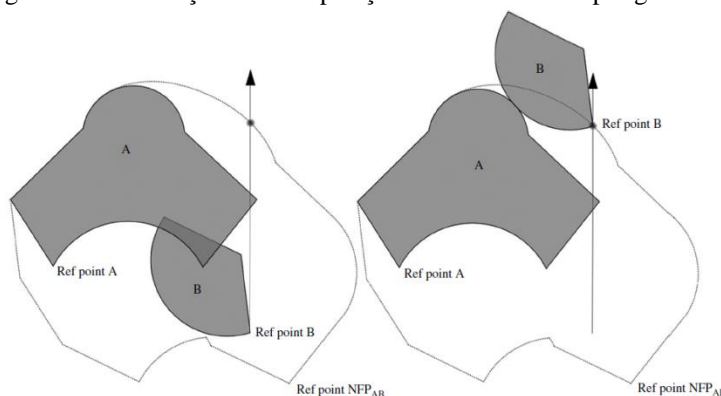
No artigo os autores se concentram no polígono *no-fit* e fornecem uma visão das técnicas que têm sido utilizadas para sua criação. Além disso, os autores descrevem e fornecem detalhes de toda a implementação para uma nova abordagem que pode lidar com problemas tradicionais que muitas outras abordagens não lidam.

Burke *et al.* (2010) apresentam uma solução para o problema do encaixe que combina as pesquisas publicadas nos anos de 2006 e 2007. Os autores desenvolveram uma técnica para o polígono *no-fit* capaz de lidar com arcos, sem a necessidade de decomposição das linhas. O algoritmo apresentado para a inserção das peças segue a mesma sequência de etapas apresentadas em Burke *et al.* (2006) e mostradas de forma esquemática através da Figura 28.

Burke *et al.* (2010) destacam que em contraste com a detecção de sobreposição de peças baseada em cálculos trigonométricos apresentada por eles em 2006, o polígono *no-fit* pode ser usado para identificar rapidamente o estado de intersecção de duas peças.

Os autores esclarecem que em Burke *et al.* (2006), a detecção da intersecção pela trigonometria foi utilizada porque, naquele tempo, não havia abordagem que gerasse o polígono *no-fit* de modo robusto para todos os casos e capaz de lidar com formas constituídas de arcos circulares sem eles serem decompostos pela aproximação de linhas. Os autores modificaram a detecção da intersecção através da utilização do polígono *no-fit*. A Figura 29 apresenta a resolução de intersecções, que podem ser resolvidas pela inserção de uma linha vertical com base no ponto de referência da peça B que se estende até a intersecção com o NFP_{AB} . A peça B é deslocada através do seu ponto de referência até o local de intersecção da linha vertical com o NFP_{AB} , assim a sobreposição entre os dois polígonos é resolvida com uma única etapa de deslocamento.

Figura 29 – Resolução de sobreposição de formas com o polígono *no-fit*



Fonte: Burke *et al.* (2010)

Para avaliar a abordagem proposta, Burke *et al.* (2010) geraram novas soluções para problemas benchmarks publicados anteriormente na literatura. Para isso, os autores utilizaram o polígono *no-fit*, o *bottom-left-fill* em conjunto com as meta-heurísticas *hill climbing* e busca Tabu apresentadas em Burke *et al.* (2006). A sequência inicial das peças para o encaixe foi obtida pela ordem decrescente de comprimento e de área.

Para cada conjunto de dados, Burke *et al.* (2010) executaram 10 vezes cada problema com quatro diferentes combinações entre ordem inicial e procedimento de busca: *hill climbing* com ordem decrescente de área, *hill climbing* com ordem decrescente de comprimento, busca Tabu com ordem decrescente de área e busca Tabu com ordem decrescente de comprimento. Os autores apresentam uma análise estatística com o mínimo, máximo e a média do comprimento do encaixe, e desvio padrão para cada uma das quatro combinações entre ordem inicial das peças e procedimento de busca. A partir dos dados obtidos os autores concluíram que não há uma combinação entre ordem inicial e procedimento de busca que domina como o melhor resultado dos conjuntos de problemas benchmarks. Segundo os autores, isso pode indicar que a combinação entre ordem inicial e procedimento de busca é dependente dos dados de entrada.

Burke *et al.* (2010) apresentam uma tabela comparativa com os resultados obtidos em Burke *et al.* (2006). Os autores utilizaram na publicação do ano de 2010 uma abordagem idêntica à proposta em Burke *et al.* (2006), exceto pela implementação de detecção de sobreposições usando o polígono *no-fit* ao invés da trigonometria. Através da comparação é possível perceber que o polígono *no-fit* tem considerável redução do tempo para produzir encaixes, quando comparado a abordagem trigonométrica apresentada anteriormente em Burke *et al.* (2006). Essa diferença é mais evidente em problemas como *SWIM* e *Profiles 9*, que envolvem formas consistindo em numerosas pequenas arestas. Em outros problemas, há só pequenas melhorias no tempo de geração do encaixe. As formas que contém relativamente poucas arestas, entre quatro a seis, o benefício de resolver sobreposições através do polígono *no-fit* não mostra grande vantagem sobre intersecção aresta por aresta usando trigonometria apresentada em Burke *et al.* (2006).

3.4.4 *Two-stage packing*

No trabalho publicado por Wong *et al.* (2009), os autores utilizam o método *raster* para lidar com a parte geométrica do problema. As peças possuem um retângulo envolvente e cada *grid* pode conter o número 0 ou 1, o valor 0 indica que o local está vazio e o número 1 representa um local ocupado. Do mesmo modo que as peças, o material de encaixe também é dividido em finitas partes e a representação dos espaços vazios e ocupados também é feita através dos números 0 e 1.

Para alcançar um equilíbrio entre esforço computacional e qualidade da solução, os autores propuseram uma abordagem para o encaixe em dois estágios.

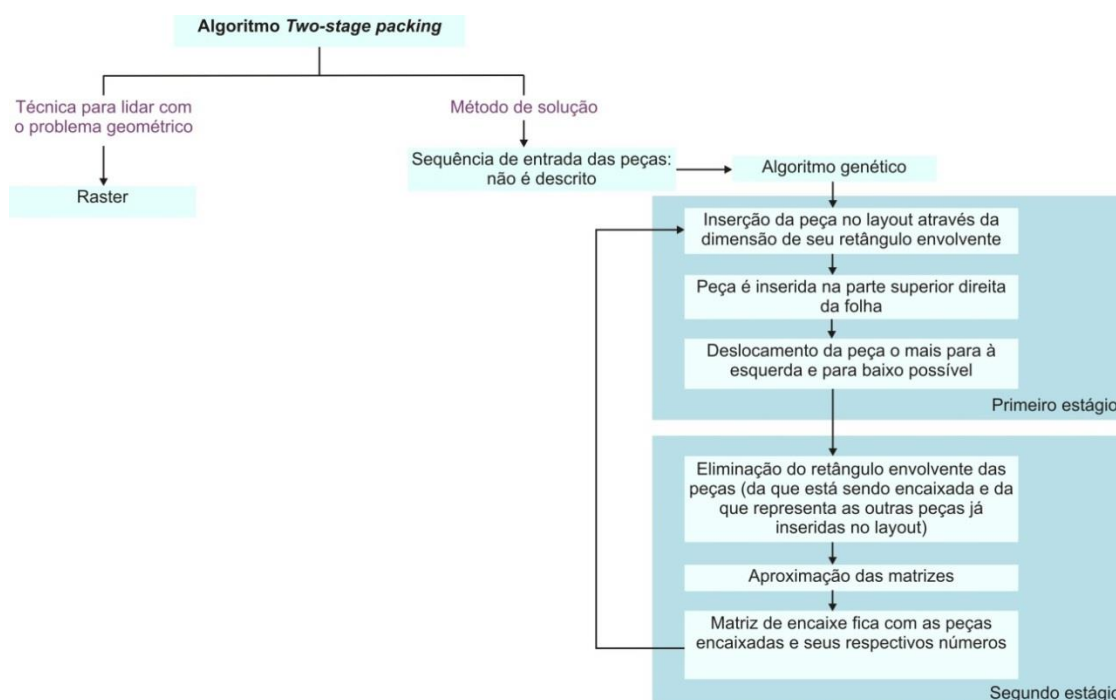
No primeiro estágio, cada peça é inserida no leiaute considerando-se as dimensões de seus retângulos envolventes. As peças são inseridas no encaixe pela parte superior direita da folha e no início do processo, toda a folha de material está desocupada. Devido à aproximação usando o retângulo envolvente no primeiro estágio e com o objetivo de simplificar o processo, a matriz que representa cada peça no encaixe fica toda preenchida pelo número 1. O objeto é movido o mais para a esquerda e para baixo possível até encontrar outros objetos e não poder mais ser movido. Os autores ressaltam que tendo em vista a propriedade das matrizes, é conveniente deslocar a peça pela contagem das células vazias na matriz. No segundo estágio, é eliminado o retângulo envolvente das peças. As peças são compactadas pela aproximação das duas matrizes e conseqüente remoção de alguns *grids* vazios. Em seguida, a matriz de encaixe fica com as peças encaixadas e seus respectivos números. A rotina de compactação é feita com cada retângulo envolvente que é colocado no encaixe, ao invés de implementar uma rotina de compactação em um único passo no fim, depois de todos os retângulos envolventes terem sido alocados. O processo termina quando todas as peças forem encaixadas.

No trabalho de Wong *et al.* (2009) é implementado o algoritmo genético para determinar a ordem na sequência das peças que serão encaixadas. Cada sequência de peças é representada por um conjunto de números inteiros. A sequência numérica é uma analogia com um cromossomo de um indivíduo da população e cada número dessa sequência é um gene. Assim como no evolucionismo, a população inicial dá origem a uma nova população através do “acasalamento genético” e operações de *crossing over* e mutação, que ocorrem para evitar filhos idênticos aos seus pais. No “acasalamento genético” dois indivíduos dão origem também a dois novos indivíduos. Os novos

indivíduos são resultado do cruzamento de uma parte de cada uma das sequências numéricas dos indivíduos pais. O “acasalamento genético” gera uma nova população, que substitui a população que deu origem a eles. O melhor indivíduo da população ascendente, segundo a função de avaliação, é copiado para a população descendente antes do “acasalamento genético”. Cada indivíduo tem uma probabilidade de seleção, os cromossomos com maiores valores na função objetivo possuem maiores chances de seleção para o “acasalamento genético”. Contudo, os indivíduos com menores valores na função objetivo possuem maiores chances de experimentar mutações.

Wong *et al.* (2009) validam a pesquisa através da comparação entre os resultados obtidos pela técnica *bottom-left* combinada com uma busca randômica para determinar a ordem na sequência das peças com a técnica proposta de encaixe em dois estágios combinada com o algoritmo genético. Os autores definem os mesmos parâmetros para a busca randômica e os algoritmos genéticos e verificam que a técnica proposta de dois estágios combinada com o algoritmo genético apresenta resultados com melhor eficiência de encaixe. Os problemas são exemplos da indústria do vestuário e não benchmarks da literatura, como nos demais artigos. A Figura 30 apresenta de modo esquemático as técnicas e a sequência empregada por Wong *et al.* (2009) no algoritmo *two-stage packing* proposto pelos autores.

Figura 30 – Sequência de técnicas empregadas no algoritmo *two-stage packing*



Fonte: a Autora

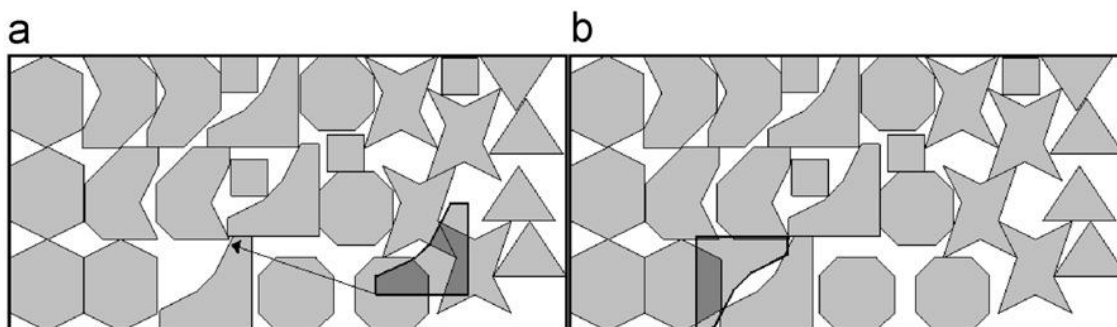
3.4.5 ELS

No trabalho apresentado por Leung, Lin e Zhang (2012), a abordagem geométrica para o problema do encaixe é feita através do polígono *no-fit*. Como a heurística para o encaixe permite sobreposições, são propostos os algoritmos *penetration depth*, *penetration vector* e um algoritmo de separação para resolver as sobreposições entre as peças.

Na heurística para solucionar o encaixe, primeiramente, é encontrado um encaixe inicial sem sobreposições entre as peças. O comprimento desse encaixe é salvo como melhor comprimento. Então, o comprimento do encaixe é reduzido e aplica-se uma busca local.

A busca local é empregada para tentar resolver ou minimizar a sobreposição entre as peças. O algoritmo obtém uma nova posição de inserção para uma determinada peça pela movimentação e troca de duas peças do encaixe corrente. O algoritmo denominado de *MovePolygon* move um polígono para uma nova posição com o mínimo de sobreposição. Os autores defendem que atravessar todas as posições no encaixe é claramente impossível. Assim, só foram consideradas as posições em que a peça movida tocará algumas outras peças. Além de movimentar uma peça o *MovePolygon* também troca duas peças de local. Primeiro, uma peça é removida do encaixe e movida para uma posição fora do encaixe; segundo, o algoritmo move outra peça para a nova posição e terceiro, a primeira peça é novamente movida pelo algoritmo, e há uma grande probabilidade que essa peça seja movida para a posição onde estava a segunda peça. Após esse processo, trocam-se as posições de duas peças.

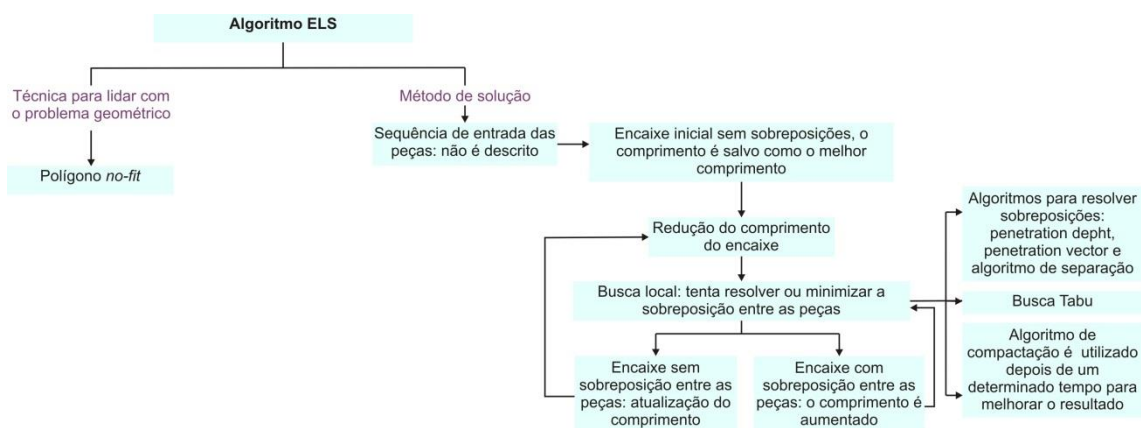
Assim, a busca local utiliza o algoritmo *MovePolygon* para tentar resolver e minimizar a sobreposição dos polígonos *no-fit*. Em cada passo de iteração, randomicamente é movida uma peça ou trocadas duas peças e separadas as sobreposições. A melhor colocação é salva como o novo local para o próximo passo. Se o encaixe corrente é viável, ou seja, não há sobreposições entre as peças, foi encontrada uma solução, e o comprimento é atualizado. Após essa etapa, novamente o comprimento será reduzido com o objetivo de encontrar melhores soluções. Caso as sobreposições entre as peças não sejam resolvidas, o comprimento do encaixe é aumentado e a busca local repetida. A Figura 31 apresenta um exemplo da troca de posição de uma peça dentro do encaixe para uma nova posição com menor sobreposição.

Figura 31 – Ilustração do *MovePolygon*: (a) antes do movimento e (b) depois do movimento

Fonte: Leung, Lin e Zhang (2012)

Para guiar a busca local e evitar mínimos locais é implementada a meta-heurística busca Tabu, que utiliza uma lista tabu. Leung, Lin e Zhang (2012) ressaltam que quando apenas se utiliza a abordagem proposta para a busca local facilmente a solução se direciona para um mínimo local. Assim, os autores combinam o algoritmo *MovePolygon* com a meta-heurística busca Tabu para escapar de mínimos locais. Dada uma colocação (x,y) , seus vizinhos podem ser divididos em “m” sub-vizinhos através do algoritmo *MovePolygon* “m” vezes para uma peça. Durante a busca Tabu os autores não utilizam a troca de duas peças, apenas o movimento de uma peça, porque a troca iria gerar um número muito maior de sub-vizinhos e o tempo para lidar com o problema aumentaria muito. No trabalho de Leung, Lin e Zhang (2012) quando uma peça é movida, ela é adicionada a uma lista tabu e não pode ser movida em um pequeno espaço de tempo. Depois, os autores utilizam outra lista tabu para impedir que um mesmo tipo de peça seja movido e assim evita-se que a solução facilmente comece a se movimentar em círculo. Os autores testaram diversos comprimentos para as duas listas tabu e estabeleceram o número de vizinhos “m” como um conjunto igual a 80% da quantidade total de peças. Depois de um determinado tempo, um algoritmo de compactação é adotado para melhorar o resultado. A Figura 32 apresenta de modo esquemático as técnicas empregadas no trabalho desenvolvido por Leung, Lin e Zhang (2012) para o algoritmo ELS.

Figura 32 – Sequência das técnicas empregadas no algoritmo ELS



Fonte: a Autora

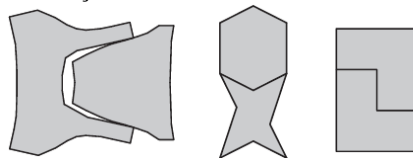
3.4.6 Algoritmo híbrido utilizando o *Cuckoo search*

Elkeran (2013) utiliza a busca das soluções por meio da movimentação das peças diretamente no leiaute. Primeiramente, o algoritmo gera um encaixe inicial através de alguns critérios de ordenamento para as peças: área, comprimento, largura, irregularidade e retangularidade. Depois de todas as tentativas, o leiaute de encaixe com a maior eficiência é selecionado como o leiaute inicial.

Para a geração de uma solução inicial sem sobreposições Elkeran (2013) utiliza a heurística *bottom-left*. Para poder construir geometricamente o encaixe, o autor emprega o polígono *no-fit* e o retângulo *inner-fit*.

Para reduzir o tamanho de busca e melhorar a qualidade da solução do leiaute inicial, são realizados agrupamentos de pares de peças. Os agrupamentos descobrem se há características no formato das peças que podem ser combinadas e agrupa essas peças em pares. A ideia de fazer o agrupamento dos pares foi baseada no fato de que muitos problemas de encaixe incluem peças com formatos congruentes e que se combinados entre si alcançam uma boa eficiência no encaixe com um tempo menor. Elkeran (2013) não executa combinações entre pares de peças com formato convexo, assim as características que são combinadas sempre resultam de, pelo menos uma peça com formato côncavo e outra peça que pode ser convexa ou côncava. A Figura 33 apresenta exemplos de combinação de pares de peças que obtém altas eficiências.

Figura 33 – Combinação das características formais de pares de peças

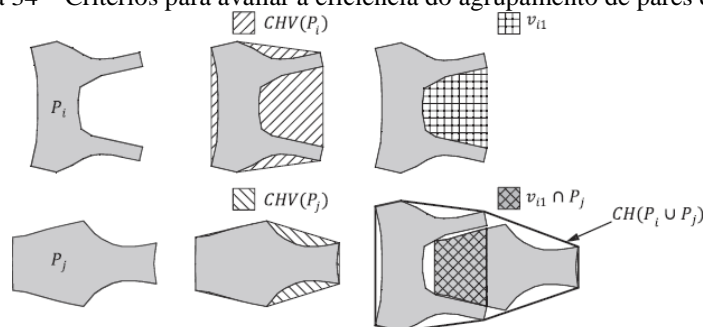


Fonte: Elkeran (2013)

A ideia de combinar pares de peças proposta por Elkeran (2013) contribuiu para a combinação de moldes do algoritmo de encaixe com etapa de pré-processamento proposto nesta pesquisa, que será descrito no capítulo 7.

O agrupamento das peças definido por Elkeran (2013) utiliza dois subcritérios para avaliar a eficiência do agrupamento. O primeiro subcritério é uma medida da intersecção entre as áreas da primeira peça e da segunda peça, ou seja, o espaço vazio do envoltório à peça, representada na Figura 34 pela hachura mais escura. O segundo subcritério é a medida de utilização de duas peças dentro de seus envoltórios circunscritos convexos, indicada na Figura 34 pelo contorno das duas peças na última imagem.

Figura 34 – Critérios para avaliar a eficiência do agrupamento de pares de peças



Fonte: Elkeran (2013)

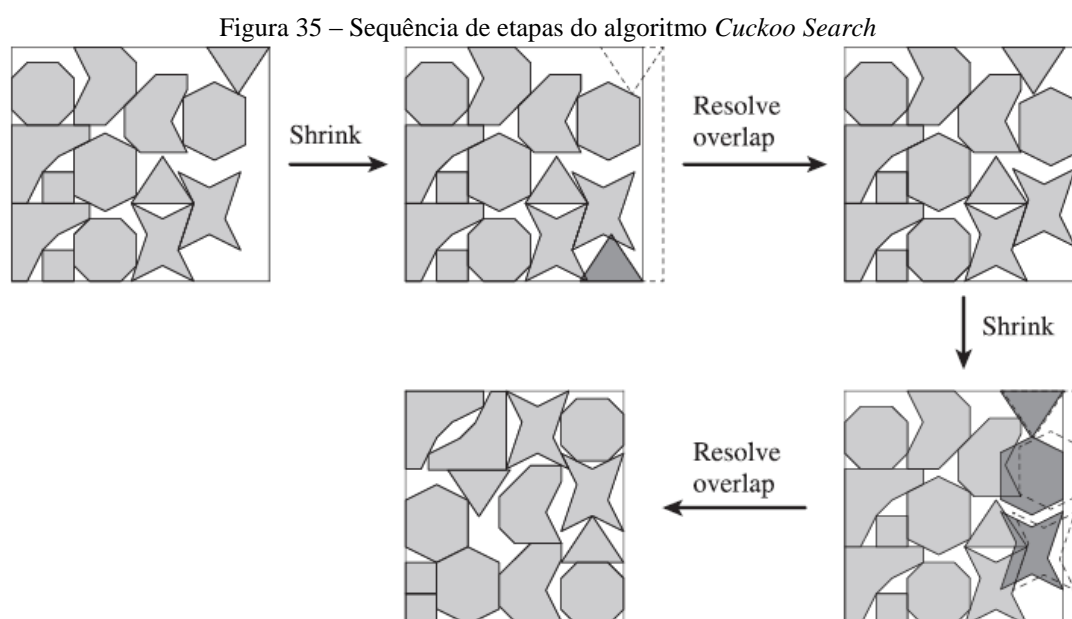
Assim como no trabalho de Elkeran (2013), no algoritmo de encaixe de moldes com fase de pré-processamento, implementado no software Riscare Listrado, também se utiliza critérios para avaliar a qualidade de combinação entre dois moldes: eficiência do retângulo envolvente e eficiência do polígono envolvente. Ambos são descritos no capítulo 7.

No trabalho de Elkeran (2013) o agrupamento de pares de peças é feito em uma fase de pré-processamento, similar ao cálculo dos polígonos *no-fit*. A aplicação do agrupamento de peças para os problemas de encaixe é controlada pela definição de uma

porcentagem para o agrupamento. Em alguns problemas pode não ser vantajosa a aplicação do agrupamento de pares, devido à presença de muitas peças com formas convexas. Para a utilização do agrupamento, os pares de peças são classificados em ordem decrescente de acordo com a eficiência do agrupamento.

O algoritmo utilizado para a busca local é o *cuckoo search*, uma meta-heurística inspirada na estratégia de reprodução dos cucos. De modo simplificado, os cucos deixam seus ovos nos ninhos de outros pássaros, que são hospedeiros e podem ser de diferentes espécies. Se um pássaro hospedeiro descobre que os ovos não são os seus próprios, ele joga esses ovos alheios fora ou simplesmente abandona o ninho e constrói um novo ninho em outro lugar. Para aplicar isso como uma ferramenta Yang e Deb (2009) idealizaram três regras: cada cuco deixa um ovo por vez e coloca o ovo através da escolha randômica do ninho; os melhores ninhos, com alta qualidade de ovos, seguirão para as próximas gerações; o número de ninhos hospedeiros disponíveis é fixo e o ovo deixado pelo cuco é descoberto pelo pássaro hospedeiro por uma determinada probabilidade.

O *cuckoo search* implementado por Elkeran (2013) consiste em duas fases. A primeira fase é responsável por minimizar o comprimento do encaixe enquanto a segunda fase lida com o problema de minimizar a sobreposição. A figura 35, publicada por Elkeran (2013), mostra sucessivos melhoramentos no leiaute, iniciando com uma pequena eficiência até alcançar uma alta eficiência.



Fonte: Elkeran (2013)

A primeira fase do algoritmo gera uma possível solução inicial simples. Então é computado o comprimento que contém todos os polígonos dentro do encaixe sem sobreposição. A execução das próximas fases é controlada por dois parâmetros que decrementam e incrementam a porcentagem de diminuição ou aumento para o comprimento do encaixe: r_{dec} e r_{inc} , respectivamente.

Caso seja encontrada uma solução possível, essa é aceita e definida como a melhor solução. O comprimento do encaixe é encolhido utilizando o parâmetro r_{dec} e cada peça que extrapola o limite é recolocada dentro do encaixe. Após essa etapa é realizada uma nova fase, todos os pontos candidatos para a inserção das peças que ficaram para fora do encaixe, podem ser calculados. É escolhido o ponto que possui a menor sobreposição com as outras peças.

Para resolver a sobreposição, a segunda fase do *cuckoo search*, utiliza as definições propostas por Yang e Deb (2009): cada ovo em um ninho representa uma solução e cada cuco pode deixar somente um ovo. Além dessas definições, o *cuckoo search* também utiliza o *local random walk* e *global random walk*. De modo simplificado, pode-se dizer que o *local random walk* realiza uma permutação aleatória em cada geração de ninhos e que o *global random walk* utiliza *Lévy flights*, que proporciona um passeio aleatório.

Assim, o *cuckoo search* implementado por Elkeran (2013) é responsável por mover uma peça com uma orientação fixa dentro do encaixe para outra posição com menor sobreposição. Nesse contexto, um cuco, que representa um ovo ou uma solução, corresponde a uma determinada posição de uma peça específica. A população inicial é construída a partir de diferentes posições aleatórias para a peça que deve ser movida.

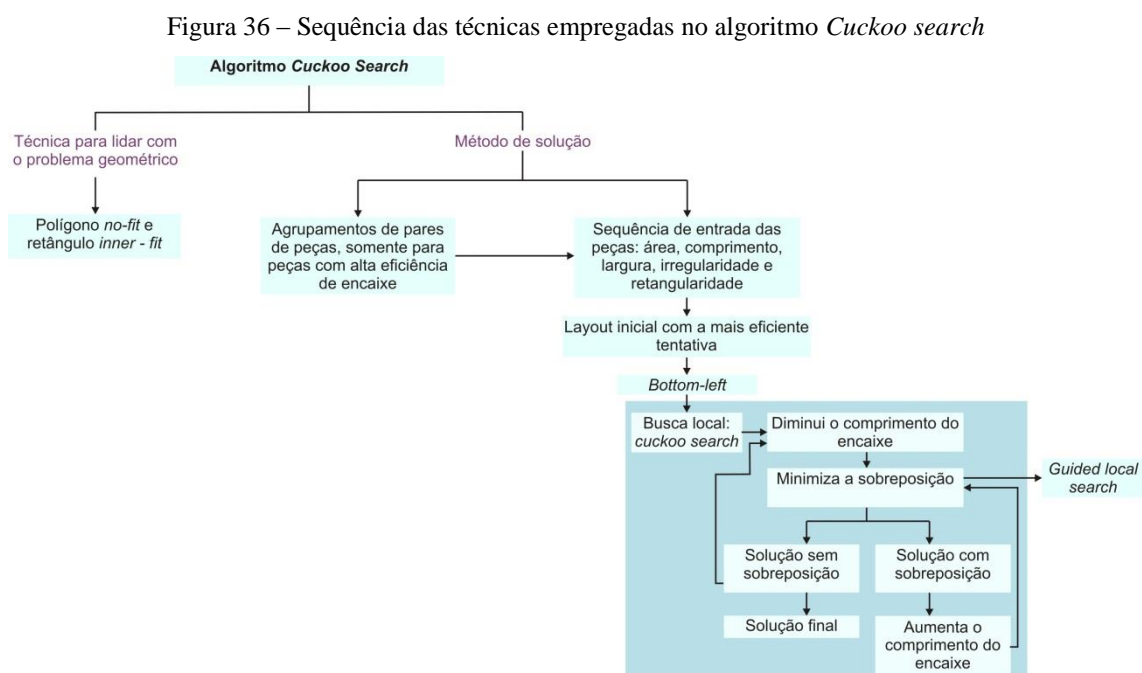
Para mover as peças dentro do encaixe é aplicado o *guided local search*, fundamentado na pesquisa de Voudouris e Tsang (1995). A aplicação de uma meta-heurística é fundamental para evitar que a busca fique presa em um mínimo local. Caso o encaixe das peças não seja possível, após o encolhimento do layout, o algoritmo aumenta o comprimento do encaixe utilizando o parâmetro r_{inc} e repete-se o *cuckoo search*.

Elkeran (2013) ressalta que utilizar apenas o *cuckoo search* para mover as peças nem sempre é muito eficiente e pode levar para um mínimo local. Por esse motivo, o autor aplica o *Guided local search* através de penalidades com diferentes pesos. As penalidades são atualizadas iterativamente depois do movimento das peças. O *Guided*

local search e *cuckoo search* são combinados para solucionar o problema da sobreposição.

O autor comparou os resultados obtidos com Egeblad, Nielsen e Odgaard (2007), Imamichi *et al.* (2009), Leung, Lin e Zhang (2012) e Sato, Martins e Tsuzuki (2012). O algoritmo foi rodado 10 vezes para cada problema. O autor obteve os melhores resultados, quando comparado aos melhores resultados *benchmarks* e a maioria de superioridade nos resultados quando comparado com a média de eficiência das outras publicações. Elkeran (2013) ressalta no final do trabalho, que uma sugestão para futuras pesquisas, é a ampliação do agrupamento de pares para um multi-estágio dinâmico de agrupamento. Na pesquisa atual, durante a primeira metade do tempo de processamento computacional, as duas peças agrupadas são movidas juntas. Para o resto do tempo computacional, as duas peças agrupadas podem ser movidas separadamente.

A Figura 36 apresenta de modo esquemático a sequência das técnicas empregadas por Elkeran (2013) no algoritmo *cuckoo search*.



Fonte: a Autora

3.4.7 Algoritmo para encaixe em tecidos com figuras complexas

Diferentemente dos trabalhos apresentados anteriormente, Ko e Kim (2013) desenvolveram uma técnica de encaixe para o vestuário confeccionado em tecidos com

figuras complexas. Porém, a técnica abordada pelos autores privilegia o processamento da imagem para detectar a repetição do padrão dos tecidos e não o método de encaixe. O processo de detecção das repetições de imagens no tecido é feito através da captura de uma imagem digital. Após essa etapa, o software desenvolvido pelos autores permite a realização de uma simulação tridimensional da roupa utilizando as imagens do desenho do tecido capturadas e calibradas. Com esse método, os usuários podem ajustar as imagens na roupa interativamente e conseguem obter a continuidade dos padrões de repetição ao longo das linhas de costura. No final do processo, os moldes da roupa podem ser arranjados sobre o tecido de modo que a continuidade das figuras seja preservada enquanto o software busca a minimização da perda de tecido.

Ko e Kim (2013) ressaltam que o objetivo principal da pesquisa não é gerar um encaixe com alta eficiência, e por esse motivo um método simples de encaixe foi empregado. Os autores utilizaram o método *raster* para tratar a parte geométrica do problema. O tecido em que os moldes são colocados foi convertido em uma matriz bidimensional e cada *grid* possui o valor 1 se ele é ocupado por um molde e 0 caso esteja vazio. Os moldes também são representados pelo método *raster* e divididos em *grids*. Com as coordenadas da textura e o ângulo de rotação ajustados para determinados moldes durante a simulação tridimensional, a posição possível para esses moldes é restringida. Portanto, uma posição possível para cada molde é pesquisada dentro do conjunto de posições que indicam a repetição da dimensão da unidade das coordenadas da textura. Na pesquisa desenvolvida por Ko e Kim (2013) são gerados múltiplos encaixes através da troca de posição randômica das peças no ordenamento. O encaixe que obtiver a melhor eficiência é definido como a solução final.

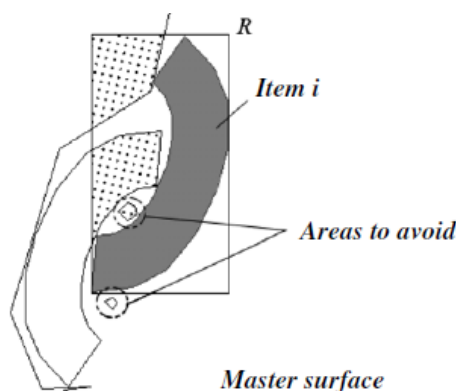
3.4.8 Algoritmos para encaixe em matérias-primas com defeitos – SNH1, SNH2, SNH3 e Heurística *Lagrangean*

Baldacci *et al.* (2014) abordam o problema específico do encaixe dos itens e do material que será cortado, que são irregulares em seu formato. Eles também consideram que a superfície de encaixe pode conter defeitos e zonas de qualidade. Os problemas abordados no artigo são comuns no vestuário de couro e na indústria de móveis. No trabalho publicado, as peças podem ser rotacionadas sem restrição e várias superfícies principais podem ser empregadas. Os autores optaram por utilizar a representação

raster, uma vez que este método lida eficientemente com o processo de restrição de defeitos.

Primeiramente, Baldacci *et al.* (2014) propõem um procedimento heurístico para solucionar o encaixe de peças com formato irregular dentro de uma única superfície. Os autores definiram uma função que avalia a rentabilidade de inserir dentro de uma solução uma peça de um determinado tipo em uma posição específica. O valor da função é penalizado se uma determinada posição não é viável para a peça. A função de avaliação é definida pela soma de outras três funções e pela subtração de uma função. A primeira função verifica a densidade da solução emergente através da relação entre o número de *grids* cobertos pelas peças e o número de *grids* da matéria-prima. A segunda função avalia o número de *grids* contidos em um pequeno retângulo envolvente de uma determinada peça que já estão cobertos por outras peças. A Figura 37 apresenta um exemplo dos *grids* da peça que está sendo encaixada e os *grids* contidos no retângulo envolvente de outras peças que já foram inseridas na matéria-prima.

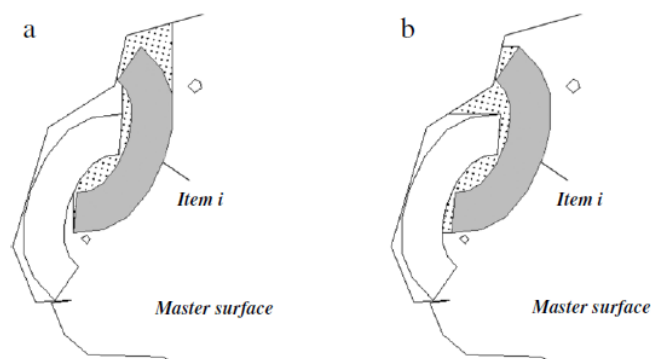
Figura 37 – Exemplo dos *grids* usados dentro do retângulo envolvente



Fonte: Baldacci *et al.* (2014)

A terceira função verifica o desperdício decorrente da localização de uma determinada peça em uma posição específica. Essa é a única função em que há subtração do valor. Se uma estratégia de colocação *top-left* é aplicada, ele é o número de *grids* ainda não usados no lado esquerdo e acima da peça (fig. 38). Se uma estratégia *bottom-left* é aplicada, ele é o número de *grids* ainda não usados no lado esquerdo e embaixo da peça.

Figura 38 – *Grids* não usados na colocação *top-left*: (a) acima da peça; (b) do lado esquerdo da peça



Fonte: Baldacci *et al.* (2012)

A quarta função soma os valores associados para cada *grid* coberto por uma determinada peça. Altos valores podem ser dados para *grids* que são difíceis de cobrir e baixos valores para outros *grids*. Assim, essa função verifica a habilidade de uma determinada peça ser alocada em uma posição específica.

Baldacci *et al.* (2014) destacam que para resolver os problemas de encaixe são necessários exaustivas verificações do material. Para reduzir a complexidade computacional, os autores optaram por utilizar heurísticas de colocação. Foram implementadas 3 heurísticas de colocação, denominadas de PH1, PH2 e PH3. A heurística PH1, depois de definida uma peça, executa a verificação do material a partir do canto superior-esquerdo e move-se do topo para baixo e da esquerda para direita. O procedimento termina assim que uma posição possível é encontrada. A heurística PH2 executa para cada posição em x uma verificação da superfície principal do topo para baixo até uma posição possível ser encontrada e seleciona a melhor posição, se houver, entre as diferentes posições possíveis encontradas. A heurística PH3 é um algoritmo *steepest ascent*, cada peça inicia na posição x_0 (que não precisa ser viável), e a cada passo do algoritmo muda-se a peça de posição, com o objetivo de melhorar a função de avaliação.

Os autores destacam que esse algoritmo pode ficar preso em um mínimo local. Para buscar um ótimo global os autores usam um *Guided Local Search*, baseado em *Lagrangean relaxation*. Esse algoritmo atualiza os dados a cada iteração e define penalidades de acordo com as condições dos *grids*. Para uma determinada configuração de encaixe a penalidade diminui se um número maior de *grids* está coberto e é aumentada, se na configuração do encaixe, os *grids* estão vazios. Este procedimento é

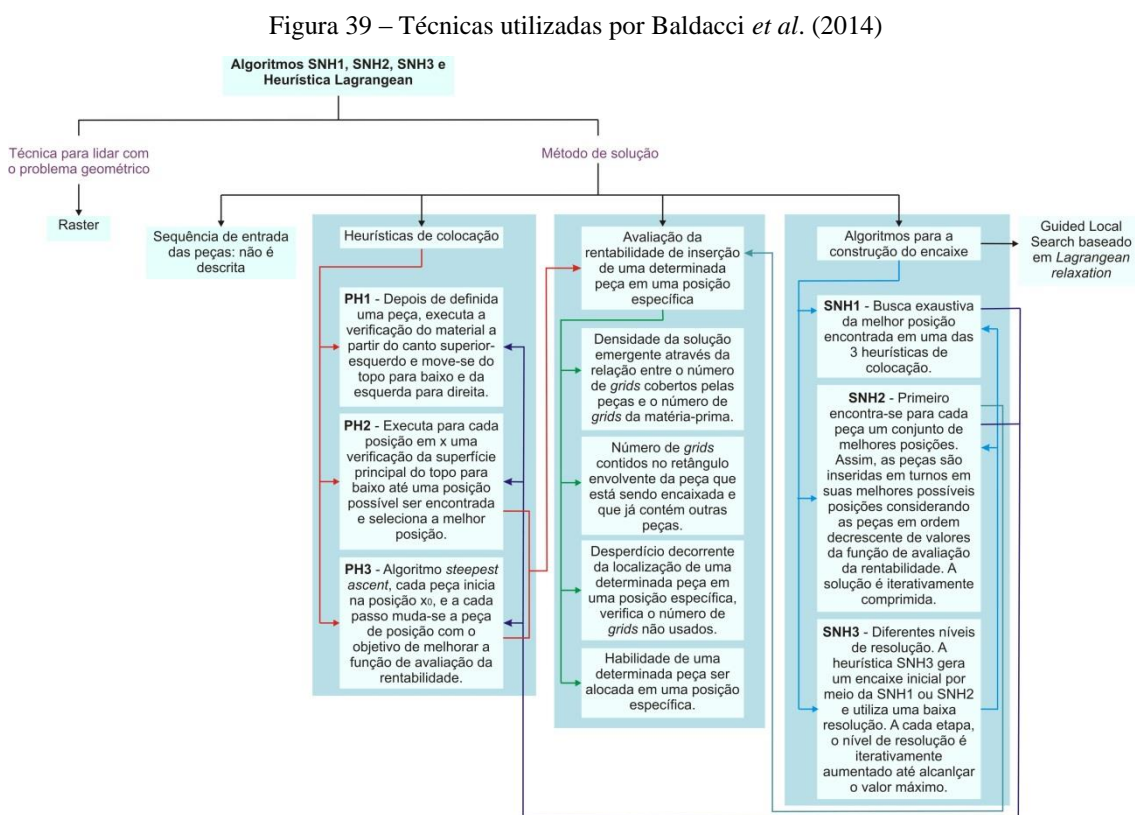
derivado de GLS e implementa a sua ideia central, o uso de penalidades para ajudar buscas locais a escapar dos mínimos locais. Os autores também propõem um procedimento iterativo que para cada iteração atribui um conjunto de pesos para cada *grid*, que são atualizados a cada novo encaixe. *Grids* não cobertos têm seus pesos aumentados, o que faz as heurísticas de colocação os utilizarem no próximo encaixe, enquanto que *grids* cobertos têm os seus pesos diminuídos e tornam-se menos atrativos. Depois de um número de iterações os *grids* que são difíceis de cobrir possuem pesos com altos valores, enquanto que *grids* que são fáceis de cobrir têm pesos com baixos valores. Esse algoritmo é utilizado para as diferentes heurísticas de colocação (PH1, PH2 e PH3) assim como para as heurísticas de geração do encaixe, que são descritas a seguir.

Baldacci *et al.* (2014) propuseram três algoritmos para a geração do encaixe: SNH1, SNH2 e SNH3. A primeira heurística SNH1 faz a busca exaustiva da melhor posição encontrada em uma das três heurísticas de colocação. A heurística SNH2 realiza algumas etapas. Primeiro, encontra-se para cada peça um conjunto de melhores posições. Assim, as peças são inseridas em turnos em suas melhores possíveis posições considerando as peças em ordem decrescente de valores da função de avaliação da rentabilidade. Após essa fase inicial, a solução parcial é iterativamente comprimida através das heurísticas de colocação PH1, PH2, PH3 até, depois de um dado número de iterações, nenhuma peça poder ser adicionada a solução emergente. Os autores destacam que a fase final de compressão da solução busca encontrar espaço para outras peças, e que o procedimento é similar ao *jostling*, proposto por Dowsland, Dowsland e Bennell (1998). No trabalho desenvolvido por Baldacci *et al.* (2014) a fase final de compressão é feita através da heurística de colocação PH3, alternando as estratégias de colocação *top-left* e *bottom-left*. A heurística SNH3 busca melhorar a performance computacional. O procedimento utiliza diferentes níveis de resolução da representação *raster* do material e das peças, ou seja, a quantidade de *grids* utilizados para representar uma unidade de área. A heurística SNH3 gera um encaixe inicial por meio do SNH1 ou SNH2, utilizando uma baixa resolução do *raster* para o material e para as peças. A cada etapa, o nível de resolução é iterativamente aumentado até alcançar o valor máximo. Para cada iteração o encaixe é melhorado pela aplicação do procedimento SNH2.

Baldacci *et al.* (2014) ressaltam que a representação *raster* suporta de modo mais eficiente o processo de encaixe em áreas com diferentes regiões de qualidade. A

habilidade para lidar com defeitos também pode ser útil para solucionar outros problemas práticos e complexos, como, a posição de imagens ou o alinhamento de estampas dentro de itens do vestuário. Os autores também sugerem que a performance computacional de algoritmos, que usam a representação *raster*, pode ser melhorada através do *GPGPU computing* ou através de programação paralela.

A Figura 39 apresenta de modo esquemático as técnicas e a sequência empregada por Baldacci *et al.* (2014) nos algoritmos propostos pelos autores.



Fonte: a Autora

3.4.9 Riscare

Na pesquisa de mestrado da autora deste trabalho (ALVES, 2010) foi apresentado um algoritmo heurístico implementado no software Riscare para o encaixe de moldes em tecidos lisos. Neste subcapítulo é apresentada de forma sucinta a heurística utilizada. A compreensão do funcionamento do software Riscare é importante para o entendimento do presente trabalho, uma vez que a abordagem geométrica é a mesma utilizada para o encaixe de moldes em tecidos listrados. A construção do encaixe também apresenta algumas semelhanças.

Para resolver o problema do encaixe de moldes em tecidos lisos foram definidas três questões: abordagem geométrica, critérios de ordenamento e construção do encaixe. A abordagem geométrica é através do método *raster* e semelhante à publicada em Segenreich e Braga (1986 *apud* Bennell e Oliveira, 2008), anteriormente já descrita neste trabalho. 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 nos *grids*. 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. 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.

Para a construção do encaixe optou-se pelo método de busca em uma sequência. Para estabelecer diferentes sequências entre as peças foram desenvolvidos cinco critérios de ordenamento. O primeiro deles ordena a sequência dos moldes em função decrescente de largura. O segundo ordena a sequência dos moldes em ordem decrescente de comprimento. O terceiro critério dispõe os moldes em ordem decrescente de perímetro. O quarto ordenamento coloca os moldes em ordem decrescente de área.

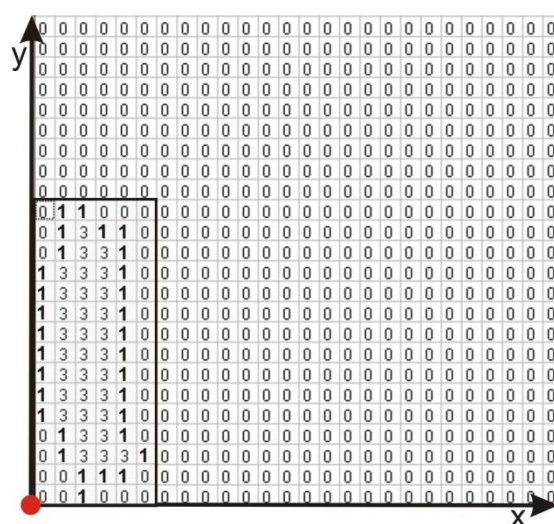
O quinto e último critério utiliza o conceito da técnica dos 80/20 para a definição da sequência das peças que serão encaixadas. Segundo a técnica dos 80/20, aproximadamente 80% dos efeitos gerados em qualquer grande sistema são causados por 20% das variáveis daquele sistema (JURAN, 1951). Dessa forma, foi empregado o conceito da técnica para o problema de encaixe de moldes da indústria do vestuário. As variáveis críticas desse sistema são as peças com maior área. Em alguns problemas de encaixe a variedade dos moldes pode ser grande. Assim não foi possível, em todas as situações, trabalhar com um mínimo de 20% de todos os maiores moldes, já que o objetivo era encontrar uma boa solução em tempo de acordo com as necessidades industriais.

Dessa forma, optou-se por trabalhar com um número fixo de moldes: os sete maiores moldes do problema. Esses moldes foram colocados em todas as sequências possíveis, resultando em 5.040 possibilidades para cada problema com um mínimo de sete

moldes. 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. Buscou-se através deste critério concentrar o cálculo computacional na busca da melhor combinação das peças que mais influenciam na eficiência do encaixe, as maiores. A combinação das sete maiores peças também foi importante porque não se restringiu a encontrar a melhor combinação entre as maiores peças. A troca na sequência das peças maiores também mudou as possibilidades de inserção das peças menores nos espaços vazios do tecido que ficaram entre os maiores moldes.

Depois de definidos o modo de representação geométrica das peças e os critérios de ordenamento, realizou-se a construção do encaixe, para cada uma das sequências, por meio da técnica *bottom-left*. Os moldes foram 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. 40). Se o tecido estiver vazio o molde é inserido, caso o espaço esteja ocupado o molde é deslocado. A Figura 40 mostra a representação de uma parte do tecido e o molde pelo método *raster*.

Figura 40 – Localização inicial da peça sobre o tecido

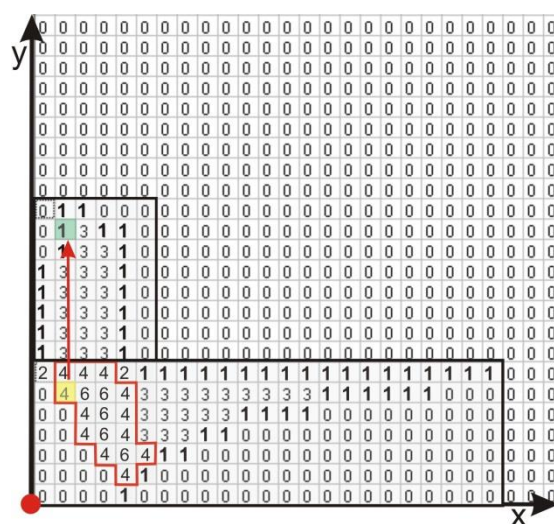


Fonte: a Autora

Após a colocação do primeiro molde no canto esquerdo inferior do tecido é inserido o próximo molde (Fig. 41) na mesma posição inicial em que foi inserido o

primeiro. É possível observar na Figura 41 o conjunto de *grids* com os números 4 e 6, contornados pela cor vermelha, que indicam sobreposição de dois moldes. Destacado na cor amarela, também na Figura 41 está o primeiro *grid* que, quando verificado, adverte que o molde deve ser deslocado. Na cor verde, na Figura 41, está o *grid* para onde será deslocado o molde a partir do *grid* em amarelo. O molde é deslocado para o *grid* do tecido no eixo Y um *grid* acima do primeiro *grid* encontrado 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.

Figura 41 – Detecção de sobreposição entre duas peças



Fonte: a Autora

Para verificar as sobreposições entre dois moldes e realizar os deslocamentos, os conteúdos de cada *grid* do tecido e do molde são verificados. Inicia-se pelo primeiro *grid* do canto esquerdo inferior, percorrendo todos os *grids* correspondentes àquela posição em X no eixo Y.

A Figura 42 mostra o molde, após o deslocamento anterior. O *grid* em amarelo indica o primeiro *grid* em que é encontrada sobreposição e o *grid* em verde, para onde o molde será deslocado. O contorno na cor vermelha dos *grids* mostra a região de sobreposição entre os dois moldes.

esquerdo, porém com um *grid* incrementado para a direita. Esse processo é contínuo até a inserção de todos os moldes no tecido.

Para comparar a técnica utilizada no software Riscare com o trabalho de outros autores, foram selecionados oito problemas de encaixe, quatro considerados benchmarks da literatura e os outros quatro problemas da indústria do vestuário encontrados no trabalho de Wong *et al.* (2009). Dentre os oito problemas apresentados, o Riscare alcançou, em quatro deles, comprimentos menores e com melhores rendimentos e em um obteve a solução ótima.

3.4.10 Características dos métodos de solução para o problema do encaixe

Nos subcapítulos anteriores foram apresentados diversos métodos para lidar com o problema do encaixe bidimensional de itens com formas irregulares. Com o objetivo de estabelecer um comparativo entre as diferentes abordagens e eficiências obtidas é apresentado o Quadro 1. O Quadro 1 também será utilizado, no capítulo dos resultados do presente trabalho, para comparar as eficiências alcançadas na versão do problema que não possui restrições de encaixe com o encaixe de moldes em tecidos listrados.

O Quadro 1 apresenta, na coluna da esquerda, 15 problemas considerados benchmarks da literatura. Nas outras colunas encontram-se o nome do algoritmo, a configuração do computador utilizado, a referência bibliográfica com o nome do autor e o ano da publicação, a melhor eficiência obtida (ME) e o tempo (T) empregado em segundos. A melhor eficiência encontrada foi destacada em negrito no quadro. O Quadro 1 mostra dados de cinco trabalhos citados ao longo do presente capítulo. Optou-se por não inserir os resultados obtidos por Baldacci *et al.* (2014) por esses serem apresentados através do comprimento obtido e não pela eficiência. Baldacci *et al.* (2014) comparam os seus resultados com Gomes e Oliveira (2006), Egeblad, Nielsen e Odgaard (2007), Burke *et al.* (2010) e conseguem resultados semelhantes aos outros autores, com melhorias em alguns dos problemas, porém em outros não. Dos problemas publicados em Alves (2010), *Trousers* é o único que também aparece no Quadro 1. Em Alves (2010) obteve-se com o software Riscare para esse problema uma eficiência de 89,96%.

Apesar do Quadro 1 apresentar o tempo de processamento das soluções, esses não são comparados, uma vez que as configurações entre os computadores em que foram realizados os testes são distintas. Alguns autores, como Egeblad, Nielsen e

Odgaard (2007) e Elkeran (2013) optam por estipular um tempo máximo de processamento computacional, diferente de outras pesquisas em que é estabelecido um número de iterações. Por esse motivo aparecem os valores de 600 segundos e 1200 segundos no Quadro 1.

Quadro 1 – Eficiências obtidas para problemas de encaixe bidimensional de formas irregulares

Problemas	GLSHA e SAHA Pentium 4 2.4 GHz		2DNest Pentium4 3.0 GHz		<i>Line and Arc</i> NFP Intel Pentium 4 2 GHz		ELS Pentium4 2.4 GHz		GCS i7 2.2 GHz	
	Gomes e Oliveira (2006)		Egeblad, Nielsen e Odgaard (2007)		Burke <i>et al.</i> (2010)		Leung, Lin e Zhang (2012)		Elkeran (2013)	
	ME %	T (s)	ME %	T (s)	ME %	T (s)	ME %	T (s)	ME %	T (s)
Albano	87,43	2257	87,88	600	87,23	299	88,48	1203	89,58	1200
Dagli	87,15	5110	87,05	600	84,6	252	88,11	1205	89,51	1200
Dighe1	100	83	99,84	600	82,65	3	100	601	100	600
Dighe2	100	3	93,02	600	84,75	148	100	600	100	600
Fu	90,96	296	92,03	600	90,2	139	91,94	600	92,41	600
Jakobs1	81,67	37	89,03	600	85,2	29	89,10	603	89,10	600
Jakobs2	74,23	55	81,07	600	78,1	51	83,92	602	87,73	600
Mao	82,54	8245	85,15	600	80,91	152	84,33	1204	85,44	1200
Marques	88,14	7507	89,82	600	88,7	21	89,73	1204	90,59	1200
<i>Shapes0</i>	66,50	3914	66,42	600	66,5	274	67,63	1207	68,79	1200
<i>Shapes1</i>	71,25	10314	73,23	600	72,5	166	75,29	1212	76,73	1200
<i>Shapes2/Blasz1</i>	83,60	2257	81,59	600	80,6	281	84,23	1205	84,84	1200
<i>Shirts</i>	86,80	5290	87,38	600	85,2	194	88,4	1293	88,96	1200
<i>Swim</i>	74,37	6937	72,49	600	70,5	141	75,43	1246	75,94	1200
<i>Trousers</i>	89,96	8588	90,46	600	88,9	253	89,63	1237	91,00	1200

Fonte: a Autora

Dos autores listados no Quadro 1, o trabalho de Elkeran (2013) apresenta os melhores resultados em relação à eficiência¹⁵. Porém, o tempo de processamento computacional em Burke *et al.* (2010) é consideravelmente menor do que os outros autores. Para alguns problemas, a eficiência obtida em Burke *et al.* (2010) é bem semelhante a encontrada nas outras pesquisas, e em outros significativamente menor.

Dos 15 problemas do Quadro 1, seis são da indústria do vestuário: Albano, Mao, Marques, *Shirts*, *Swim* e *Trousers*. Apesar de haver diferenças entre as eficiências

¹⁵ Os problemas benchmarks de encaixe são executados no computador um determinado número de vezes para os testes. Geralmente, os resultados são apresentados em duas tabelas distintas, uma contém a média das eficiências e a outra as melhores eficiências obtidas.

obtidas pelos autores do Quadro 1, e com exceção do problema *Swim*, todos os outros resultados situam-se dentro do percentual de aproveitamento de 80%, citado como esperado, por Aldrich (2014), para problemas da indústria do vestuário.

Para os trabalhos citados no Quadro 1 e somadas as publicações de Burke *et al.* (2006), Burke *et al.* (2007), Wong *et al.* (2009) e Baldacci *et al.* (2014) foi construído o Quadro 2. O Quadro 2 faz uma síntese das pesquisas desenvolvidas pelos diferentes autores e que foram descritas nos subcapítulos anteriores. É indicada a referência da publicação com o nome dos autores, o título do artigo, a base do método de solução para o problema do encaixe, o critério de ordenamento das peças, a abordagem geométrica e a meta-heurística empregada.

Quadro 2 – Síntese dos trabalhos publicados sobre encaixe bidimensional de formas irregulares

Autor (es)	Título	Base do método de solução	Critério de ordenamento	Abordagem geométrica	Meta-heurística
Gomes e Oliveira (2006)	Solving Irregular Strip Packing problems by hybridising simulated annealing and linear programming	Com sobreposição. <i>Bottom-left</i> . Programação linear: algoritmos de compactação e separação. Abordagem <i>multi-stage</i> .	Decrescente “comprimento aleatório ponderado”	Polígono <i>no-fit</i> e retângulo <i>inner-fit</i>	<i>Simulated annealing</i>
Egeblad, Nielsen e Odgaard (2007)	Fast neighborhood search for two and three-dimensional nesting problems	Com sobreposição. Retângulo envolvente. <i>Bottom-left</i> .	_____	Polígono <i>no-fit</i>	<i>Guided Local Search</i> e <i>Fast Local Search</i>
Burke <i>et al.</i> (2006)	A New Bottom-Left-Fill Heuristic Algorithm for the Two-Dimensional Irregular Packing Problem	Sem sobreposição. <i>Bottom-left-fill</i> .	Decrescente do maior comprimento e da maior área.	Cálculo do deslocamento para interseção de linhas e arcos. Técnicas trigonométricas.	<i>Hill climbing</i> e busca tabu
Burke <i>et al.</i> (2007)	Complete and robust no-fit polygon generation for the irregular stock cutting problem	Os autores se concentram na implementação do polígono <i>no-fit</i> (não resolvem nenhum problema benchmark de encaixe).	_____	Polígono <i>no-fit</i> .	_____
Burke <i>et al.</i> (2010)	Irregular Packing Using the Line and Arc No-Fit Polygon	Sem sobreposição. <i>Bottom-left-fill</i> .	Decrescente do maior comprimento e da maior área.	Polígono <i>no-fit</i> capaz de lidar com arcos.	<i>Hill climbing</i> e busca Tabu
Wong <i>et al.</i> (2009)	Solving the two-dimensional irregular objects allocation problems by using a two-stage packing approach	Sem sobreposição. Retângulo envolvente. <i>Top-right</i> .	Não é descrito. Provavelmente randômica.	<i>Grid</i> , matriz ou <i>raster</i> .	Algoritmo genético
Leung, Lin e Zhang (2012)	Extended local search algorithm based on nonlinear programming for two-dimensional irregular strip packing problem	Com sobreposição. <i>Bottom-left</i> . <i>Penetration depth</i> e <i>separation vector</i> . Algoritmo de separação. Busca local com troca de dois polígonos. Algoritmo de compactação.	Não é descrito. Provavelmente randômica.	Polígono <i>no-fit</i> .	Busca Tabu

Elkeran (2013)	A new approach for sheet nesting problem using guided cuckoo search and pairwise clustering	Com sobreposição. <i>Bottom-left</i> . <i>Pairwise clustering</i> . <i>Cuckoo search</i> .	Decrescente da maior área, comprimento, largura, irregularidade e retangularidade.	Polígono <i>no-fit</i> .	<i>Guided Local Search</i>
Baldacci <i>et al.</i> (2014)	Algorithms for nesting with defects	Com sobreposição. Heurísticas de colocação. <i>Top-left</i> e <i>Bottom-left</i> . Diferentes resoluções para o <i>raster</i> .	Não é descrito. Provavelmente randômica.	<i>Grid</i> , matriz ou <i>raster</i> .	<i>Guided Local Search</i> , baseado em <i>Lagrangean relaxation</i>

Fonte: a Autora

Como citado no início deste capítulo, e através da visualização do Quadro 2, é possível perceber que as diversas abordagens dividem-se em relação: ao método de abordagem geométrica (predominantemente por meio dos métodos *raster* ou polígono *no-fit*) e modo de construção do encaixe (busca em uma sequência e busca em um leiaute).

Todos os artigos apresentados ressaltam a necessidade de utilizar meta-heurísticas para evitar ótimos locais e obterem soluções próximas a ótimos globais. Entre as meta-heurísticas mais populares estão: Têmpera Simulada (*simulated annealing*), Busca Tabu, *Guided Local Search* e Algoritmos Genéticos.

Esses algoritmos têm o desafio de lidar com um espaço de busca que geralmente contém muitos máximos locais, e são necessárias várias formas de aleatoriedade para escapar dessas situações. Entre as meta-heurísticas citadas, Russell e Norvig (2004) e Coppin (2010) destacam o fato da Têmpera simulada (KIRKPATRICK, GELATT e VECCHI, 1983) ter sido desenvolvida diretamente do algoritmo de Metropolis (METROPOLIS *et al.*, 1953). Segundo Coppin (2010), a Têmpera simulada usa a simulação Monte Carlo para identificar o estado com a menor energia para um sistema. Isso é feito através de sucessivas iterações do algoritmo Metropolis. Russell e Norvig (2004) ressaltam que atualmente a Têmpera simulada é um campo independente, com um grande volume de artigos publicados a cada ano.

O algoritmo Metropolis-Hastings é um dos principais métodos Cadeia de Markov Monte Carlo, utilizado para a aprendizagem de informações em simulações de problemas probabilísticos. Porém, diferentemente da Têmpera simulada, não é comum na literatura seu emprego para resolução de problemas de encaixe (RUSSELL e NORVIG, 2004; COPPIN, 2010; MARSLAND, 2009; SHAO, 2013).

O próximo subcapítulo apresenta o método Cadeia de Markov Monte Carlo e o algoritmo Metropolis-Hastings. O método Cadeia de Markov Monte Carlo tem sido referido como um dos mais importantes já desenvolvidos (MARSLAND, 2009; RUSSELL e NORVIG, 2004). Considerou-se relevante a compreensão do algoritmo Metropolis-Hastings, assim como a possibilidade de sua utilização para o problema de encaixe.

3.5 CADEIA DE MARKOV MONTE CARLO (CMMC)

Os métodos de Monte Carlo têm revolucionado a computação estatística e a física estatística nos últimos 20 anos. Um dos algoritmos mais conhecidos atualmente, que utiliza o método Monte Carlo, foi publicado em 1953, no artigo denominado *Equation of State Calculations by Fast Computing Machines* (METROPOLIS *et al.*, 1953). Anos antes, Metropolis também já havia publicado outro artigo: *Monte Carlo Method* (METROPOLIS e ULAM, 1949). Segundo Marsland (2009), a ideia do método Monte Carlo e a origem de seu nome surgiram quando Stam Ulam estava considerando as probabilidades em um jogo de cartas de baralho.

Apesar das primeiras publicações sobre o método Monte Carlo serem da metade do século passado, ele só ficou conhecido quando os computadores se tornaram rápidos suficientes e capazes de calcular exemplos do mundo real em horas, ao invés de semanas. Nos últimos anos, os algoritmos de Monte Carlo passaram a ser usados em ciência da computação para calcular quantidades difíceis de estimar com exatidão. Atualmente, este método tem sido citado como um dos mais influentes já desenvolvidos (MARSLAND, 2009; RUSSELL e NORVIG, 2004).

Técnicas de Monte Carlo são baseadas em simulações estocásticas, isto é, simulações de valores de uma distribuição de probabilidade, usando computador. O que o algoritmo de Monte Carlo faz é aproximar uma distribuição de interesse (que se quer representar) por uma amostra extraída dessa distribuição. As cadeias de Markov são um esquema iterativo de simulação onde cada iteração do algoritmo depende apenas da iteração anterior. Se for gerado um número suficientemente grande de iterações, a cadeia se aproximará de sua distribuição de equilíbrio (MARSLAND, 2009).

Para exemplificar uma utilização do método Monte Carlo, Marsland (2009) cita um caso simples: dizer antecipadamente quantas vezes uma pessoa pode esperar vencer um jogo de paciência no computador. Neste tipo de jogo, o computador gera uma configuração inicial para as cartas e o jogador deve seguir as regras do jogo para tentar completar os quatro conjuntos de sequências de cartas. O jogo de paciência utiliza um baralho com 52 cartas. Assim, a quantidade de configurações iniciais é 52!, aproximadamente (8×10^{67}), já que essas cartas podem ser distribuídas de diferentes formas. O número de possibilidades para as configurações iniciais é um valor tão elevado, que é inviável jogar todas as sequências possíveis para poder prever quantas

vezes uma pessoa pode esperar vencer. Uma pessoa pode decidir jogar 10 vezes e ver quantas dessas partidas ganha. Suponha-se que das 10 partidas, ela vença 6. Para poder argumentar que aproximadamente 60% dos jogos de paciência essa pessoa vence, Marsland (2009) expõem que será necessário jogar muito mais do que 10 jogos com a mesma taxa de sucesso. O método Monte Carlo pode ser utilizado em situações semelhantes a essa, ele faz simulações e prevê o que deve ocorrer.

Segundo Russell e Norvig (2004) os algoritmos de Monte Carlo também são conhecidos como algoritmos de amostragem aleatória. Cadeias de Markov Monte Carlo (CMMC) é um algoritmo de amostragem que gera uma quantidade de amostras. Cada nova amostra é construída através de uma mudança aleatória na amostra anterior. O CMMC fornece respostas aproximadas para problemas de probabilidade cuja precisão depende da quantidade de amostras geradas.

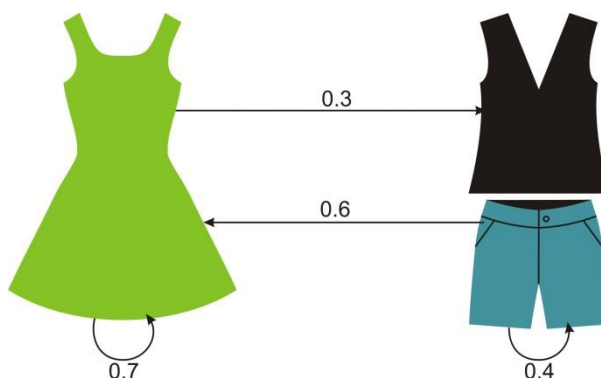
Há dois tipos de problemas que podem ser resolvidos usando os métodos de Monte Carlo. O primeiro, quando se pretende calcular a solução ótima (ou se ter uma aproximação da solução ótima) para alguma função objetivo. O segundo, quando se deseja calcular a distribuição posterior para um problema estatístico de aprendizagem. Em qualquer uma das situações, o espaço de busca pode ser muito grande, e o interesse não está em conhecer todas as possibilidades. Por esse motivo, no algoritmo no CMMC é muito importante a definição de como é realizada a exploração do espaço de possibilidades através da construção das amostras (MARS LAND, 2009).

Para entender a importância das amostras no CMMC é preciso compreender o conceito da Cadeia de Markov. A Cadeia de Markov pode ser definida como uma sequência de variáveis randômicas (por exemplo, X_1, X_2, X_3) com a propriedade Markov. A propriedade Markov é a característica de, dado um conjunto do estado atual de uma amostra, o evento de transitar para um novo estado com uma nova amostra é probabilisticamente independente da sua história passada (das amostras anteriores, com exceção da última). Assim, em termos probabilísticos, uma cadeia de Markov é uma sequência de estados possíveis (amostras), onde a probabilidade de existência de um estado é uma função do último estado anterior, independente de quantos estados anteriores ela tiver (MARS LAND, 2009; DOOB, 1953).

Uma Cadeia de Markov pode ser descrita através de um grafo onde as setas indicam as probabilidades de um estado ir para outro estado (DOOB, 1953). Utiliza-se

aqui um exemplo simples para facilitar a compreensão do conceito da Cadeia de Markov. Considera-se que as probabilidades indicadas na Figura 44 foram registradas através de observações. A Figura 44 define que uma pessoa observada só utiliza um tipo de roupa a cada dia e só tem duas possibilidades: vestido ou shorts e blusa. Segundo a Figura 44, se a pessoa observada está usando um vestido a probabilidade de no próximo dia (nova amostra) ela usar vestido novamente é de 70%, e de ela usar shorts e blusa é de 30%. Caso ela esteja usando shorts e blusa, a probabilidade de no próximo dia ela usar shorts e blusa novamente é de 40%, e de usar vestido 60%.

Figura 44 – Probabilidades de usar uma determinada roupa



Fonte: a Autora

Utilizando o conceito das Cadeias de Markov e o método Monte Carlo pode-se fazer simulações para saber aproximadamente quantos dias no ano a pessoa observada usaria vestido e quantos dias ela usaria shorts e blusa. Para o exemplo proposto, considera-se que foram feitas quatro simulações aleatórias distintas. Para cada dia inicial da simulação foi definida uma roupa diferente: vestido, shorts e blusa, vestido, vestido. Para cada uma das quatro simulações considerou-se um período de 6 anos, assim foram geradas 2.190 amostras. Para cada nova amostra, de cada uma das simulações, considerou-se as probabilidades indicadas na Figura 44. Para passar de uma amostra para outra não é preciso conhecer todas as amostras anteriores, apenas a última amostra. Como no exemplo descrito, para gerar a última amostra não era necessário conhecer todas as 2.189 amostras geradas anteriormente, apenas a amostra 2.189ª, por que essa era a única a interferir na amostra de número 2.190ª.

Ao final das simulações, a Cadeia de Markov prova que os números que indicam a probabilidade de a pessoa usar vestido ou shorts e blusa, em cada uma das quatro

simulações, é muito semelhante. Essa estabilidade entre as probabilidades encontrada ao final de cada uma das simulações é definida por Robert e Casella (2010) como uma das principais propriedades do CMMC. Para verificar a estabilidade entre as probabilidades usa-se o valor esperado (em inglês, *estimate the expectation*) (GILKS, RICHARDSON e SPIEGELHALTER, 1996).

O valor esperado pode ser descrito como a medida de localização da distribuição de probabilidade da variável aleatória. A partir de uma cadeia suficientemente longa $\{X_t; t = m + 1, \dots, n\}$; onde m são as iterações do início (fase de *Burn-in*) e n o tamanho total de iterações (tamanho da fase de *Burn-in* somada ao tamanho da fase de Iterações)¹⁶, Gilks, Richardson e Spiegelhalter (1996) propõem a Equação 2 para calcular o valor esperado no método CMMC.

$$\bar{f} = \frac{1}{n-m} \sum_{t=m+1}^n f(X_t) \quad (2)$$

Onde:

\bar{f} = média dos valores da função;

n = tamanho total de iterações (fase de *Burn-in* + fase de Iterações);

m = tamanho da fase de *Burn-in*;

$f(X_t)$ = valor da função na posição t .

Assim, independente da amostra que se inicie, e se forem geradas amostras suficientes, os valores esperados para o problema ao final da simulação sempre serão muito semelhantes.

3.5.1 Metropolis–Hastings

O acréscimo do nome Hastings ao algoritmo proposto por Metropolis *et al.* (1953) ocorreu com a publicação por Hastings (1970) do artigo *Monte Carlo Sampling Methods Using Markov Chains and Their Applications*. Hastings (1970) ampliou a possibilidade de utilização do algoritmo para casos mais gerais. Marsland (2009) descreve que o algoritmo Metropolis-Hastings, assim como os algoritmos derivados dele, são os mais usados métodos CMMC, além de também serem os que mais possuem

¹⁶ Ambas as fases são explicadas no próximo subcapítulo.

possibilidades de emprego. Robert e Casella (2010) corroboram com Marsland (2009) e definem o algoritmo de Metropolis-Hastings como um dos mais gerais dos algoritmos Cadeia de Markov Monte Carlo (CMMC), além de também ser um dos mais simples para entender.

Os métodos de CMMC são uma alternativa aos métodos não iterativos em problemas complexos. São usadas técnicas de simulação iterativa, baseadas em cadeias de Markov. A ideia é obter uma amostra da distribuição a posteriori¹⁷ e calcular estimativas amostrais de características desta distribuição. É um algoritmo não determinístico, necessitando a simulação de números aleatórios de alguma distribuição de probabilidades. Se houver a suspeita de que o número de simulações é insuficiente, pode-se simular mais valores, tendo como limitação apenas o tempo de computação e a capacidade de armazenamento de valores (ROBERT e CASELLA, 2010).

O algoritmo de Metropolis-Hastings faz simulações aleatórias e sua principal característica é definir se as amostras geradas serão consideradas ou descartadas. Caso a amostra melhore o objetivo, ela sempre será aceita. Caso contrário, o algoritmo aceitará a amostra com alguma probabilidade menor que 1. Assim, amostras com resultados que pioram o objetivo podem ser aceitas. Russell e Norvig (2004) fazem uma analogia para explicar a têmpera simulada, e que pode ser usada aqui também para a compreensão do Metropolis-Hastings. Os autores citam que o objetivo de uma tarefa é inserir uma bola de pingue-pongue no buraco mais profundo de uma superfície irregular com buracos de diferentes profundidades. Se a bola simplesmente rolar pela superfície, ela cairá em um dos buracos, porém, provavelmente, esse não será o mais profundo. É preciso fazer a bola sair desse buraco, para tentar encontrar o mais profundo. Assim, pode-se agitar a superfície para a bola sair do mínimo local, através da aceitação de amostras que pioram o objetivo (RUSSELL e NORVIG, 2004).

Para utilizar o algoritmo Metropolis-Hastings, primeiramente deve-se construir uma cadeia de Markov e encontrar o ponto em que a cadeia converge para a distribuição estacionária, que não avança nem recua, que é a distribuição a posteriori de interesse no problema. Encontrado este ponto, todos os valores obtidos a seguir serão assumidos como uma amostra da distribuição a posteriori de interesse $\pi(X)$ (MARSLAND, 2009).

¹⁷ Segundo Mlodinow, na terminologia de simulação bayesiana, as estimativas iniciais são chamadas probabilidades a priori, e os novos palpites, probabilidades a posteriori (MLODINOW, 2009).

Para o algoritmo Metropolis-Hastings considera-se que, em cada tempo t , o próximo estado X_{t+1} é escolhido inicialmente pela amostragem de um ponto candidato Y de uma distribuição proposta $\pi(Y)$.

Segundo Press *et al.* (2011) a distribuição proposta é a probabilidade de o processo passar de um estado para outro. A distribuição proposta está relacionada com as modificações aleatórias feitas em uma amostra para ela se transformar em outra. Gilks, Richardson e Spiegelhalter (1996) afirmam que a distribuição proposta pode ter qualquer forma. Os autores alertam que a distribuição proposta precisa ser definida cuidadosamente, podendo ser uma distribuição normal. Uma distribuição proposta cautelosa, que gere pequenas alterações entre Y e X_t , geralmente terá uma alta taxa de aceitação, ou seja, muitas amostras serão aceitas. Enquanto que uma distribuição proposta mais ousada, que faça muitas modificações, pode gerar amostras com baixas probabilidades de aceitação. Os autores evidenciam que se deve evitar esses dois extremos.

Nota-se que a distribuição proposta $\pi(Y)$ depende do estado atual X_t . O algoritmo de Metropolis (METROPOLIS *et al.*, 1953) considera somente distribuições propostas simétricas. Se o ponto candidato Y é aceito, a sua probabilidade de aceitação $\alpha(X, Y)$, ou seja, de guardar a amostra para essas situações é definida pela Equação 3 (GILKS, RICHARDSON e SPIEGELHALTER, 1996).

$$\alpha(X, Y) = \min\left(1, \frac{\pi(Y)}{\pi(X)}\right) \quad (3)$$

onde $\pi(Y)$ é a distribuição proposta e $\pi(X)$ é a distribuição a posteriori de interesse.

Se o ponto candidato é aceito, o próximo estado se torna $X_{t+1} = Y$. Se o ponto é rejeitado, a cadeia não se move, isto é, $X_{t+1} = X_t$ (GILKS, RICHARDSON e SPIEGELHALTER, 1996).

Após ser gerada uma amostra, verifica-se a probabilidade de se guardar a amostra. A modificação proposta por Hastings (1970) foi particularmente importante nesse ponto do algoritmo, no cálculo da probabilidade de aceitação da amostra, em que

o autor trabalhou com probabilidades condicionais¹⁸ e ampliou a possibilidade de utilização para casos mais gerais do algoritmo proposto por Metropolis *et al.* (1953).

O Quadro 3 descreve o algoritmo de Metropolis-Hastings baseado nos autores Marsland (2009) e Gilks, Richardson e Spiegelhalter (1996).

Quadro 3 – Algoritmo de Metropolis-Hastings

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Definir a distribuição de interesse $\pi(X)$ que representa o problema a ser analisado, neste trabalho o encaixe em tecidos listrados 2. Dado um valor inicial X_0, definir $t = 0$; 3. Repetir { 4. Amostragem de um ponto Y a partir da distribuição proposta $\pi(Y)$ 5. Amostragem de uma variável randômica uniforme $U(0,1)$ 6. Se $U \leq \min\left(1, \frac{\pi(Y)}{\pi(X)}\right)$ então: 7. $X_{t+1} = Y$ 8. Caso contrário: 9. $X_{t+1} = X_t$ 10. Incrementar t até ter amostras suficientes 11. } |
|---|

Fonte: a Autora

Marsland (2009) define que esse algoritmo funciona porque cada passo usa o valor corrente da amostra da distribuição proposta. Os valores são aceitos se eles moverem a cadeia de Markov em direção a estados mais apropriados. O autor também alerta que a escolha para a distribuição proposta deve ser feita cuidadosamente.

Gilks, Richardson e Spiegelhalter (1996) e Press *et al.* (2011) explicam que há uma fase inicial do algoritmo denominada de *burn-in*. O objetivo dessa etapa é que as iterações sejam executadas por um tempo suficiente para que a cadeia não possa mais relacionar uma amostra com a sua posição inicial. As iterações calculadas na fase de *burn-in* devem ser descartadas para o cálculo final. Para determinar a quantidade de iterações dessa fase, é preciso verificar se a cadeia está suficientemente distante de sua posição inicial. Geyer (1992) sugere que o cálculo do tamanho da fase de *burn-in* não é necessário, o autor propõe um número entre 1 a 2% do número total de iterações.

¹⁸ Exemplo de probabilidade condicional: $q(x^i | x^{(i-1)})$. Essa notação pode ser lida como a probabilidade de x^i , dado $x^{(i-1)}$, em outras palavras, afirma a probabilidade de x^i dado que se sabe que $x^{(i-1)}$ é verdadeiro (COPPIN, 2010; RUSSELL e NORVIG, 2004; MARSLAND, 2009).

O número total de iterações do algoritmo também é uma importante decisão. Gilks, Richardson e Spiegelhalter (1996) defendem que a cadeia precisa ser longa o suficiente para encontrar o valor esperado. O principal método informal para determinar o número total de iterações é executar o algoritmo várias vezes em paralelo, com diferentes valores de início e comparar os resultados para cada uma das cadeias. O ponto em que os resultados se tornam semelhantes é denominado de convergência. Os autores explicam que o modo mais comum de visualizar a convergência entre os valores esperados de diferentes cadeias é desenhá-las em um gráfico e verificar com qual quantidade de iterações que a cadeia começa a convergir. Se as cadeias não convergirem, deve-se aumentar o tamanho de iterações do algoritmo.

O trabalho de Costa (2013) realiza uma implementação do algoritmo Metropolis-Hastings. Inicialmente é definido um algoritmo para a geração de amostras aleatórias. Esse algoritmo realiza operações de adição, remoção ou inversão em uma amostra para ela se transformar em outra. Para cada nova amostra, é calculado os parâmetros e feita uma avaliação da amostra. A nova amostra é comparada com a amostra anterior para decidir qual dos dois modelos é o que melhor representa os dados. Costa (2013) descreve que a ideia central do CMMC é escolher um movimento aleatório para a geração da nova amostra. Caso esse movimento melhore a situação ele sempre será aceito. Caso ele não melhore, o algoritmo aceita o movimento com uma probabilidade menor que 1. Quanto menor o valor retornado no cálculo de avaliação da amostra, menor a probabilidade de aceitação.

Variáveis do algoritmo Metropolis-Hastings lidam com outras escolhas para a distribuição proposta, entre os algoritmos mais conhecidos estão: têmpera simulada (*Simulated Annealing*) e amostragem de Gibbs (*Gibbs sampling*) (MARSLAND, 2009; RUSSELL e NORVIG, 2004).

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo apresentam-se a classificação da pesquisa e o delineamento da pesquisa, que descreve os procedimentos realizados para que os objetivos propostos sejam atendidos. Ao longo de toda a pesquisa considerou-se as definições do conhecimento científico descritas por Marconi e Lakatos (2007). Segundo os autores o conhecimento científico caracterizar-se por lidar com fatos. A veracidade ou falsidade do conhecimento científico é conhecida através da experiência (conhecimento contingente). É sistemático, já que as ideias são ordenadas logicamente. O conhecimento científico deve ser verificável, as hipóteses que não podem ser submetidas à comprovação não são do domínio da ciência. Constitui um conhecimento falível, por não ser definitivo o desenvolvimento de novas técnicas pode dar nova formulação a uma teoria existente.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Pode-se classificar o presente trabalho segundo alguns critérios que nortearam o estudo no alcance dos objetivos traçados previamente. Em relação à natureza, a pesquisa é aplicada, direcionada a produzir conhecimentos para a aplicação prática e voltados à solução de problemas específicos. Quanto aos objetivos do estudo, a pesquisa é explicativa, tem o propósito de revelar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos. Em relação ao método científico, a pesquisa é hipotético-dedutiva; hipóteses são formuladas e tornam evidentes as dificuldades do problema, é proposta uma possível solução através da dedução de consequências que deverão ser testadas. Quanto aos procedimentos técnicos são empregados: pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e pesquisa experimental. Em relação a abordagem a pesquisa é qualitativa, não usa métodos estatísticos e o ambiente é a fonte direta para a coleta de dados em que o pesquisador é o principal elemento (GIL, 2008; GIL, 2010; MARCONI e LAKATOS, 2007).

4.2 ETAPAS DA PESQUISA

Este subcapítulo apresenta o delineamento da pesquisa que seguiu as etapas e o encadeamento propostos pelo método hipotético-dedutivo. Gil (2008) afirma que o componente mais importante em um delineamento é o modo como é feita a coleta de

dados, que no caso desta pesquisa incluem os procedimentos técnicos de: pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e pesquisa experimental.

As etapas do delineamento da pesquisa descritas neste subcapítulo fazem parte do método hipotético-dedutivo: colocação do problema e formulação de hipóteses (item 4.2.1), construção de um modelo teórico (itens 4.2.2 e 4.2.3), dedução de consequências (item 4.2.4 e 4.2.5), teste de falseamento das hipóteses (item 4.2.6 e 4.2.7) e adição ou introdução das conclusões na teoria (item 4.2.8) (GIL, 2008; MARCONI e LAKATOS, 2007; BUNGE, 1974).

4.2.1 Colocação do problema e formulação de hipóteses

A primeira etapa do método hipotético-dedutivo, segundo Bunge (1974) e Gil (2008), é a colocação do problema e a formulação de hipóteses. Na etapa de colocação do problema ocorre o reconhecimento e seleção dos fatos que são relevantes, o encontro de lacunas no problema e por fim a formulação de hipóteses. A etapa de colocação do problema foi realizada no capítulo 1 da presente pesquisa.

4.2.2 Pesquisa bibliográfica

A segunda etapa do método hipotético-dedutivo é a construção de um modelo teórico com a seleção de fatores pertinentes para a construção de suposições. Os conhecimentos obtidos através da leitura exigem a interpretação e a distinção dos elementos mais importantes dos menos representativos. Assim, a leitura auxilia na utilização dos elementos mais relevantes como fonte de novas ideias, etapa fundamental em uma pesquisa (MARCONI e LAKATOS, 2007).

No presente trabalho a pesquisa bibliográfica iniciou com o levantamento bibliográfico. Para o levantamento bibliográfico utilizou-se a base de dados *ScienceDirect*, *Scopus*, Periódicos CAPES, Biblioteca de teses e dissertações da UNICAMP, USP e UFRGS e Google Acadêmico para busca de relatórios técnicos. Para a busca de trabalhos utilizaram-se as palavras-chave: *nesting*, *packing*, *cutting*, *pattern* e *striped*.

Foi encontrado um número elevado de artigos para a leitura através das palavras-chave e como nem todos eram importantes para a presente pesquisa fez-se uma seleção. Dos trabalhos obtidos selecionaram-se apenas os relacionados ao problema do encaixe bidimensional de itens irregulares. Foi feita a leitura de cada um dos trabalhos e

escolheram-se os artigos publicados a partir de 2006, que apresentavam bons resultados e que de alguma forma poderiam colaborar para o desenvolvimento da presente pesquisa. Marconi e Lakatos (2007) citam que a data da publicação é um importante dado, já que através dela é possível certificar-se da atualização da pesquisa. Os artigos selecionados foram descritos no capítulo 3 e complementados com livros que abordam os temas de algoritmos de busca e inteligência artificial.

O capítulo 2 também apresenta parte da fundamentação teórica que aborda as características dos diferentes tipos de tecidos listrados, as padronagens, as possibilidades de rotação dos moldes e a colocação dos moldes sobre o tecido. Nesse subcapítulo, as informações foram retiradas predominantemente de livros de design têxtil e moda.

4.2.3 Pesquisa Documental

A etapa de pesquisa bibliográfica é fundamental para a compreensão do problema de pesquisa e das melhores soluções desenvolvidas. Porém, propõem-se no presente trabalho uma variação do problema: tecidos listrados. Como citado anteriormente, o tema ainda não foi abordado de modo exclusivo nos trabalhos pesquisados. Assim, informações obtidas de fontes bibliográficas são escassas. Para auxiliar na compreensão do problema e das restrições envolvidas, utilizou-se como fonte de dados a pesquisa documental. Emprega-se aqui o conceito de documento descrito por Gil (2010, p.31): “[...] qualquer objeto capaz de comprovar algum fato ou acontecimento”. Segundo Gil (2008) a pesquisa documental utiliza materiais que ainda não sofreram tratamento analítico.

A pesquisa documental seguiu algumas etapas: identificação das fontes, localização das fontes e obtenção do material, análise e interpretação dos dados e redação. Na fase de identificação das fontes optou-se por imagens de diferentes modelos de roupas: camisas, suéter, shorts, saia e blazer; confeccionadas em diferentes tecidos listrados. A escolha dessas peças foi feita através do conhecimento empírico da pesquisadora. Buscou-se englobar as principais possibilidades e restrições relacionadas ao problema do encaixe de moldes em tecidos listrados.

Na localização das fontes, buscaram-se as imagens através da internet nos sites Polyvore¹⁹ e o Google imagens²⁰. Para a etapa de obtenção do material optou-se pela diversidade das roupas e das listras, assim como por imagens com resolução adequada para impressão. Na fase de análise e interpretação de dados utilizaram-se os conceitos de continuidade e simetria abordados por Uttal (1988) e Gomes Filho (2000). A continuidade ocorre quando as diferentes partes que constituem o todo não apresentam quebras ou interrupções em sua impressão visual. Enquanto “a simetria é um equilíbrio axial que pode acontecer em um ou mais eixos, nas posições: horizontal, vertical, diagonal ou inclinada” (GOMES FILHO, 2000 p. 59).

Assim, no capítulo 5 são utilizados os conceitos de continuidade e simetria para a análise e interpretação dos dados, que no encaixe em tecidos listrados visa identificar os pontos de coincidências dos moldes. Também foi necessária a consulta ao acervo próprio para dirimir dúvidas em relação à continuidade de listras em algumas peças de roupa. A última etapa, de redação, também é apresentada no capítulo 5.

4.2.4 Desenvolvimento da proposta para o algoritmo de encaixe com etapa de pré-processamento

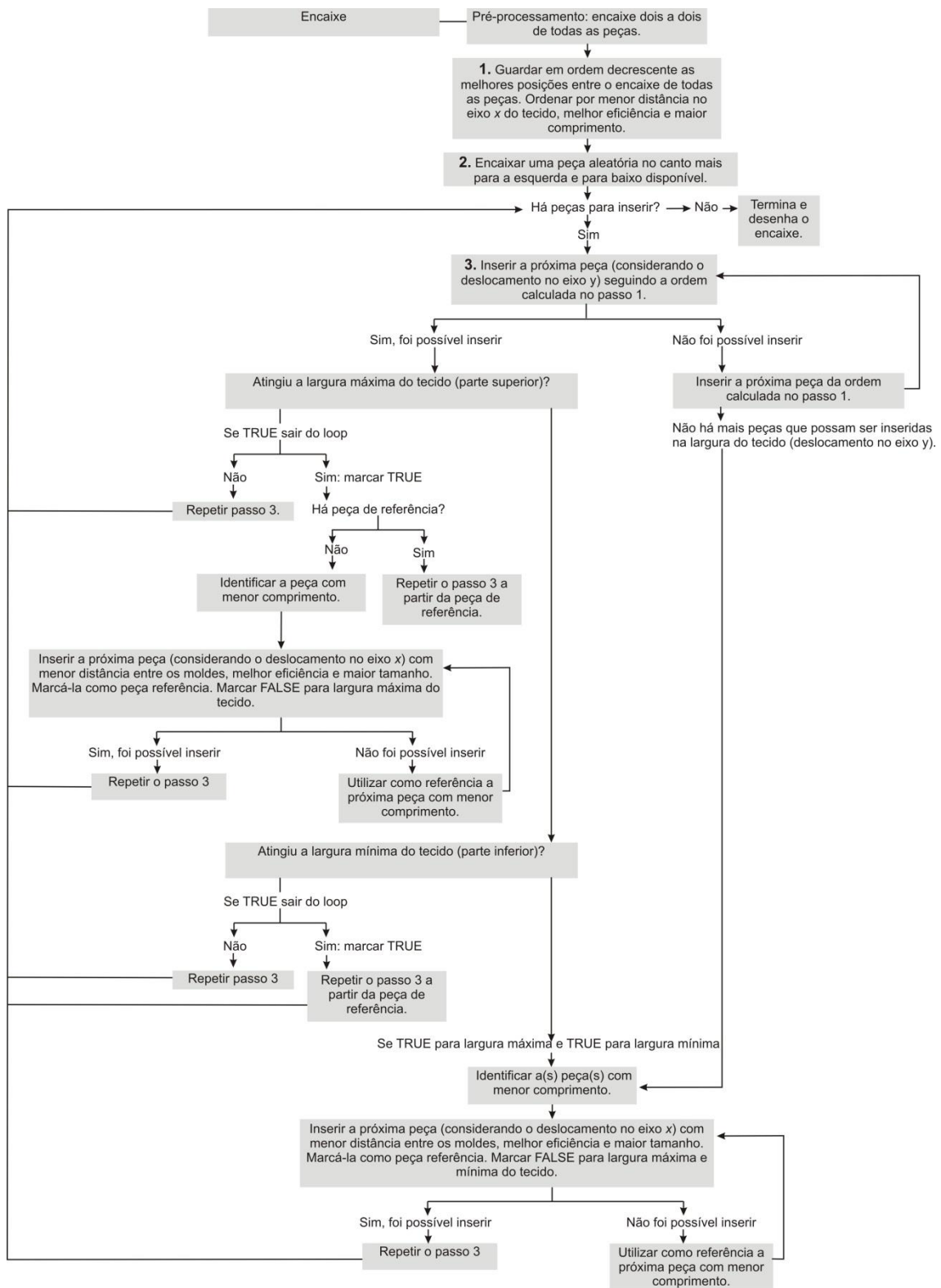
No método hipotético-dedutivo hipóteses são formuladas a partir da dedução das consequências. Como parte da dedução das consequências desenvolveu-se dois algoritmos para o problema do encaixe de moldes em tecidos listrados. O primeiro deles é o algoritmo de encaixe com etapa de pré-processamento, que é explicado de modo detalhado no capítulo 7. Este subcapítulo visa descrever apenas como foram realizados os testes iniciais para verificar a dedução das consequências e a viabilidade do algoritmo proposto antes de sua implementação em um software.

Com o embasamento teórico apresentado nos capítulos 2 e 3 e a identificação das restrições do encaixe em diferentes peças de roupa (capítulo 5) desenvolveu-se uma proposta de algoritmo para resolver o problema. Partiu-se de uma ideia inicial para o algoritmo, embasada nas hipóteses apresentadas no presente trabalho e na fundamentação teórica realizada, e montou-se uma sequência de etapas. O fluxograma dessas etapas é mostrado na Figura 45.

¹⁹ Disponível em: <<http://www.polyvore.com/cgi/shop/browse>>. Acesso em: 04 mar 2014.

²⁰ Disponível em: <<https://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&tab=wi&ei=8a2PU824BMPVsQS5tIFg&ved=0CAQQqi4oAg>>. Acesso em: 04 mar 2014.

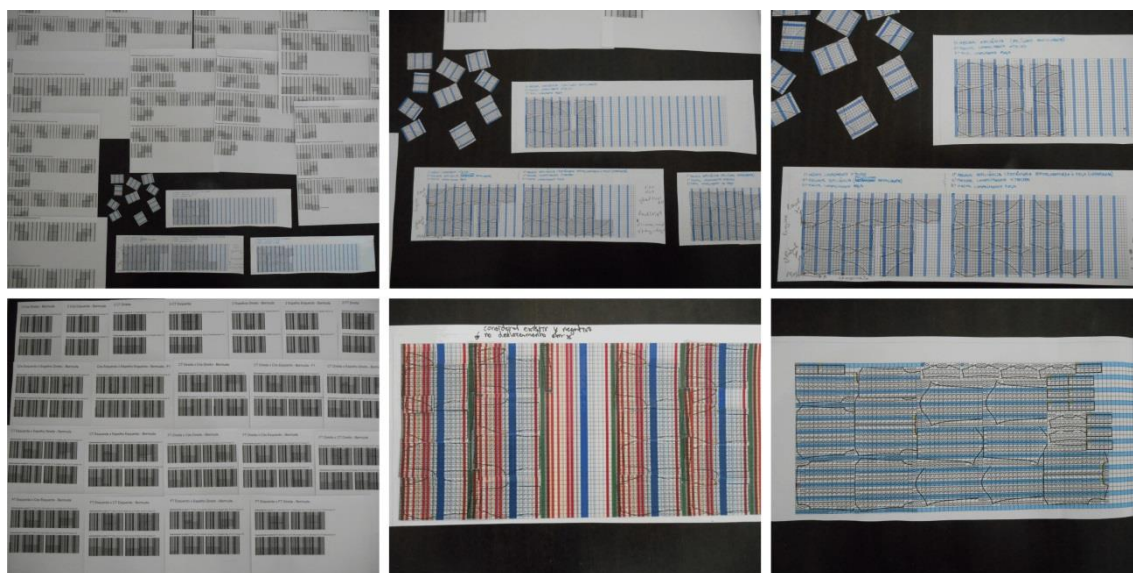
Figura 45 – Fluxograma inicial para proposta do algoritmo de encaixe com etapa de pré-processamento



Fonte: a Autora

O fluxograma da Figura 45 apresenta o planejamento teórico de uma sucessão de etapas para o encaixe de moldes. Optou-se por simular manualmente o algoritmo antes de iniciar a implementação no computador. Fez-se uma representação aproximada da etapa de pré-processamento, descrita no subcapítulo 7.1, no software CorelDRAW X3. Após essa etapa imprimiu-se os desenhos dos moldes e do tecido com os *grids* (maiores que o usado no software) e com a representação das listras. O encaixe foi feito manualmente utilizando as etapas descritas no algoritmo. A Figura 46 mostra exemplos da simulação manual com a utilização do fluxograma apresentado na Figura 45.

Figura 46 – Simulação manual da proposta inicial do algoritmo de encaixe com pré-processamento



Fonte: a Autora

Muitas situações não previstas foram identificadas e corrigidas durante as simulações manuais. Ao final do processo chegou-se no fluxograma apresentado na Figura 45, que ainda sofreu diversas modificações até chegar ao algoritmo final descrito no capítulo 7. Todas as diferenças existentes entre o fluxograma inicial e o algoritmo final foram decorrentes de testes realizados e da visualização de problemas e situações não pensadas na dedução das consequências.

4.2.5 Desenvolvimento do algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o método Cadeias de Markov Monte Carlo e o algoritmo de Metropolis-Hastings

Ao longo do trabalho foi possível adiantar o cronograma inicialmente previsto para as etapas. Assim, na metade do tempo previsto para a conclusão deste trabalho, o

algoritmo com etapa de pré-processamento já estava todo implementado. Por esse motivo e pelo fato de o algoritmo anterior, com a etapa de pré-processamento, não contemplar a busca entre vários encaixes para obter o melhor encaixe como solução final, optou-se por implementar no Riscare Listrado mais um algoritmo: busca do melhor encaixe utilizando o método Cadeias de Markov Monte Carlo e o algoritmo Metropolis-Hastings. A busca em diferentes alternativas para obter o melhor encaixe como solução final é evidenciada por diversos autores (GOMES e OLIVEIRA, 2006; BURKE *et al.*, 2010; ELKERAN, 2013; BALDACCI *et al.*, 2014) e aparece na maioria dos trabalhos citados na fundamentação teórica. As pesquisas apresentadas no capítulo 3 utilizam de meta-heurísticas para tentar escapar de máximos locais e obter máximos globais. Essas meta-heurísticas atuam na construção de diferentes encaixes.

Assim, optou-se por desenvolver um segundo algoritmo para o problema do encaixe de moldes da indústria do vestuário denominado de busca do melhor encaixe utilizando o método Cadeias de Markov Monte Carlo e o algoritmo de Metropolis-Hastings. Esse algoritmo é apresentado e descrito no capítulo 8 do presente trabalho. Quando o algoritmo de busca do melhor encaixe começou a ser implementado, o algoritmo de encaixe com pré-processamento já tinha sido concluído. Assim, diversas deduções de consequências relativas ao encaixe, como rotação dos moldes, pontos de coincidência das listras e situações não previstas anteriormente, já eram conhecidas. Esse conhecimento facilitou a implementação do algoritmo de busca do melhor encaixe.

4.2.6 Software Riscare Listrado

O software Riscare, como descrito anteriormente, foi desenvolvido em Alves (2010) para o encaixe de moldes em tecidos lisos. Optou-se por fazer uma nova versão do software Riscare, denominado de Riscare Listrado e utilizar as funcionalidades já construídas. Para poder verificar a veracidade ou falsidade da pesquisa, ou seja, o desempenho dos algoritmos propostos, característica do conhecimento científico, foi necessário a implementação dos algoritmos propostos no software Riscare Listrado.

Ambos os algoritmos descritos, algoritmo de encaixe com pré-processamento e algoritmo de busca do melhor encaixe, foram implementados em versões diferentes do software Riscare Listrado. O capítulo 9 descreve, para ambos os algoritmos, através da interface do software as etapas necessárias até chegar ao encaixe final.

Utilizou-se para o desenvolvimento do software e testes um computador com processador Intel® Core™ i7 com memória de 8GB e disco rígido de 1TB. Para a implementação dos algoritmos utilizou-se o software Delphi 7.

4.2.7 Pesquisa Experimental

No presente trabalho a pesquisa experimental teve como objetivo analisar o desempenho dos algoritmos desenvolvidos. Da mesma forma que o software Riscare Listrado foi desenvolvido para poder avaliar a veracidade ou falsidade da pesquisa, foi necessário também realizar a pesquisa experimental para analisar o comportamento dos algoritmos desenvolvidos em ambientes distintos.

As etapas da pesquisa experimental incluem em determinar o problema, definir as variáveis que seriam teriam a capacidade de modificar os resultados, determinar os sujeitos e estabelecer formas de controle das consequências que a variável produz no objeto do problema (GIL, 2008; GIL 2010).

Segundo Gil (2010) a pesquisa experimental inicia com o problema, que deve ser claro e objetivo. A formulação do problema apresentada no capítulo 1 evidencia a necessidade de minimização do desperdício de tecido na etapa de encaixe dos moldes. A avaliação do desperdício de matéria-prima é feita através do cálculo de eficiência do encaixe (Equação 1 mostrada no capítulo 2). Também é necessário para o processo produtivo que o encaixe seja realizado com um tempo de processamento computacional de acordo com as necessidades industriais. De acordo com Gil (2010) é fundamental na pesquisa experimental que as variáveis possam ser medidas e permitam o esclarecimento do que se deseja pesquisar. Assim, para avaliar os algoritmos desenvolvidos, utilizaram-se os parâmetros de eficiência e tempo.

Segundo Gil (2010) em uma pesquisa experimental é necessário selecionar os sujeitos. No caso desta pesquisa, os sujeitos são os problemas que constituem um conjunto de moldes e que serão avaliados em relação à eficiência e tempo. O autor descreve que no planejamento de um experimento é preciso definir com precisão a população a ser estudada. Para isso é necessário ponderar as características que são relevantes para a precisa definição da população.

No capítulo 3 foi apresentado o Quadro 1 com diversos problemas considerados benchmarks da literatura. Esses problemas estão disponíveis no website ESICUP-EURO *Special Interest Group on Cutting and Packing*. Dentre todos os benchmarks

disponíveis no website ESICUP-EURO, sete são conjuntos de moldes da indústria do vestuário. A Tabela 1 apresenta os sete benchmarks da indústria do vestuário disponíveis no website ESICUP-EURO. Nas colunas são descritos o nome do problema, a quantidade de moldes diferentes, a quantidade total de moldes, as orientações permitidas, a largura do tecido e referência da pesquisa em que o problema foi abordado. Os autores citados na Tabela 1 trabalham com medida de unidade para a largura do tecido.

Tabela 1 – Características dos problemas benchmarks da indústria do vestuário

Problema	Quantidade de moldes diferentes	Quantidade total de moldes	Orientações permitidas	Largura do tecido	Referência
Albano	8	24	0°, 180°	4900	Albano e Sappupo (1980)
Dagli	10	30	0°, 180°	60	Ratanapan e Dagli (1997)
Mao	9	20	0°, 90°, 180°	2550	Bounsaythip e Maoche (1997)
Marques	8	24	0°, 90°, 180°	104	Marques <i>et al.</i> (1991)
<i>Shirts</i>	8	99	0°, 180°	40	Dowland, Dowland e Bennell (1998)
<i>Swim</i>	10	48	0°, 180°	5752	Oliveira, Gomes e Ferreira (2000)
<i>Trousers</i>	17	64	0°, 180°	79	Oliveira, Gomes e Ferreira (2000)

Fonte: a Autora

Dos sete problemas apresentados na Tabela 1, optou-se por escolher todos para a realização dos testes, com exceção do problema *Swim*. Como em outros trabalhos (GOMES e OLIVEIRA, 2006) foi necessária a aplicação de um fator de escala para os problemas. Como é possível observar na Tabela 1, a largura do tecido é bastante variável. A Tabela 2 apresenta os problemas, o fator de escala aplicado e a nova largura do tecido.

Tabela 2 – Fator de escala aplicado para os problemas benchmarks

Problema	Fator de escala	Nova largura do tecido
Albano	0,03	147
Dagli	3	180
Mao	0,1	255
Marques	2	208
<i>Shirts</i>	5	200
<i>Trousers</i>	2	144

Fonte: a Autora

Como os problemas da Tabela 2 foram propostos para o encaixe em tecidos lisos, nenhum deles possui definição da localização do ponto de coincidência nos moldes. Por esse motivo e pela dificuldade em alguns casos de identificar a que parte da

roupa se refere um determinado molde, optou-se por definir o mesmo ponto de coincidência para todos os moldes. Assim, para os problemas benchmarks o ponto de coincidência para todos os moldes é o *grid* do canto superior esquerdo.

Também foi proposto um novo problema denominado de camisa masculina. A definição desse problema surgiu após a conclusão do capítulo 5. Selecionou-se um problema real, com pontos de coincidência que respeitam a continuidade das listras após a etapa de costura. Todas as informações necessárias para a reprodução do problema denominado de camisa masculina, como as que são fornecidas pelo website ESICUP-EURO, estão no Apêndice A. A Tabela 3 mostra as informações de quantidade de moldes diferentes, a quantidade total de moldes, as orientações permitidas, largura do tecido para o problema da camisa masculina e referência da pesquisa em que o problema foi abordado.

Tabela 3 – Característica do problema camisa masculina

Problema	Quantidade de moldes diferentes	Quantidade total de moldes	Orientações permitidas	Largura do tecido
Camisa masculina	12	18	0°, 180°	160

Fonte: a Autora

Depois de definidas as variáveis (eficiência e tempo) e os sujeitos (problemas benchmarks e camisa masculina), Gil (2010) afirma que podem ser definidos os planos experimentais. O autor descreve que os sujeitos de um experimento produzem suas ações em um ambiente, e que este deverá oferecer as condições para que se tenha a possibilidade de manipular as variáveis e verificar seus efeitos nos sujeitos. A próxima etapa é a coleta de dados que é realizada por meio da manipulação das condições do ambiente e a observação e registro dos resultados gerados. Como no presente trabalho busca-se a verificação do desempenho dos algoritmos desenvolvidos, foram necessárias duas formas distintas de manipulação das condições do ambiente.

Para o algoritmo de encaixe com pré-processamento, que é descrito no capítulo 7, estabeleceu-se para os testes o tamanho do módulo da listra em 10 unidades. Testaram-se os problemas para listras verticais e horizontais com módulos de uma única largura de listra. Cada problema foi executado 4 vezes e registrou-se a melhor eficiência gerada, entre as 4 obtidas, e o tempo necessário. Também foram anotadas as médias das 4 eficiências e do tempo. Esses dados são apresentados no capítulo 10.

Para o algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings estabeleceu-se três grupos de manipulação das condições do ambiente. Como citado no subcapítulo 3.5, o algoritmo Metropolis-Hastings é composto de duas fases: *Burn-in* e Iterações. Assim, o tamanho dos três grupos foi definido como: *Burn-in* = 50 e Iterações = 200; *Burn-in* = 500 e Iterações = 2.000 e *Burn-in* = 1.000 e Iterações = 4.000. A definição do tamanho dessas fases é explicada no capítulo 8. Para cada um desses grupos os problemas foram executados 4 vezes. Registrou-se a melhor eficiência gerada, entre as 4 obtidas, e o tempo necessário. Também foram anotadas as médias das 4 eficiências e do tempo. Definiu-se o tamanho do módulo da listra em 10 unidades. Testaram-se os problemas para listras verticais e horizontais com módulos de uma única largura de listra e com diferentes larguras de listra. Esses dados são apresentados no capítulo 10. As fases de análise e interpretação dos dados e conclusão também são apresentadas no capítulo 10.

4.2.8 Conclusão da Pesquisa

A finalização da pesquisa é apresentada no último capítulo deste trabalho. Está relacionada com a última etapa do método hipotético-dedutivo. São descritos neste capítulo a comparação com outras conclusões, os objetivos atingidos e a avaliação das hipóteses. Caso a hipótese não seja confirmada procuram-se os erros. Se houver a confirmação da hipótese buscam-se possíveis desdobramentos, até mesmo em outras áreas. Neste capítulo também são feitas sugestões para futuros trabalhos.

5 ANÁLISE SISTEMÁTICA DE ROUPAS CONFECCIONADAS EM TECIDOS LISTRADOS

Este capítulo apresenta uma análise sistemática de diferentes modelos de roupas confeccionadas em tecidos listrados. Essa etapa foi necessária para conseguir determinar algumas das restrições não relatadas na literatura e relacionadas ao encaixe de moldes em tecidos listrados. Inicialmente determinou-se o módulo e a padronagem do tecido listrado de cada modelo de roupa analisado. Após, realizou-se o estudo de cada parte que compõe uma roupa com o objetivo de identificar os pontos de coincidência segundo os critérios de continuidade e simetria a partir do módulo da listra.

Utilizam-se os conceitos de continuidade e simetria abordados por Uttal (1988) e Gomes Filho (2000). Os conceitos de continuidade e simetria fazem parte da teoria da *Gestalt* desenvolvida nas décadas de 1920 a 1940. A Teoria da *Gestalt* pode ser explicada, de modo simplificado, como a predisposição que a visão humana possui em reconhecer determinados padrões (UTTAL, 1988, GOMES FILHO, 2000 e BAXTER, 2003).

Assim, buscou-se identificar nas peças de roupas os locais que possuíam costuras e as listras apresentavam continuidade. A simetria foi observada através da colocação de eixos horizontais e verticais imaginários, tanto nas peças de roupa como nos módulos das listras.

São mostrados neste capítulo seis modelos de roupas confeccionadas em tecidos listrados, com o módulo e a padronagem da listra. Há também a indicação dos pontos de coincidência, locais em que as listras devem apresentar continuidade ou simetria após a etapa de costura.

Uma das peças do vestuário em que a utilização de listras é frequente é a camisa masculina. Na camisa masculina, confeccionada em tecido listrado, há continuidade das listras no transpasse e no bolso da frente, caso essa parte esteja presente no modelo. Há simetria das listras em diferentes partes da roupa: nos punhos, nas mangas e nas carcelas. Assim, todos esses locais precisam ter pontos de coincidência. A Figura 47 apresenta um exemplo de camisa masculina fabricada em tecido listrado. O ponto de coincidência do transpasse está destacado através de um círculo vermelho e os círculos em amarelo indicam a simetria da padronagem nos punhos. No caso dos punhos e do transpasse não é necessário que o molde fique em um local específico da listra, mas que

o local indicado seja o mesmo para os moldes do punho, assim como para os moldes da parte da frente.

Figura 47 – Camisa Ermenegildo Zegna fabricada em tecido listrado



Fonte: Baseado de Zegna [201-?]

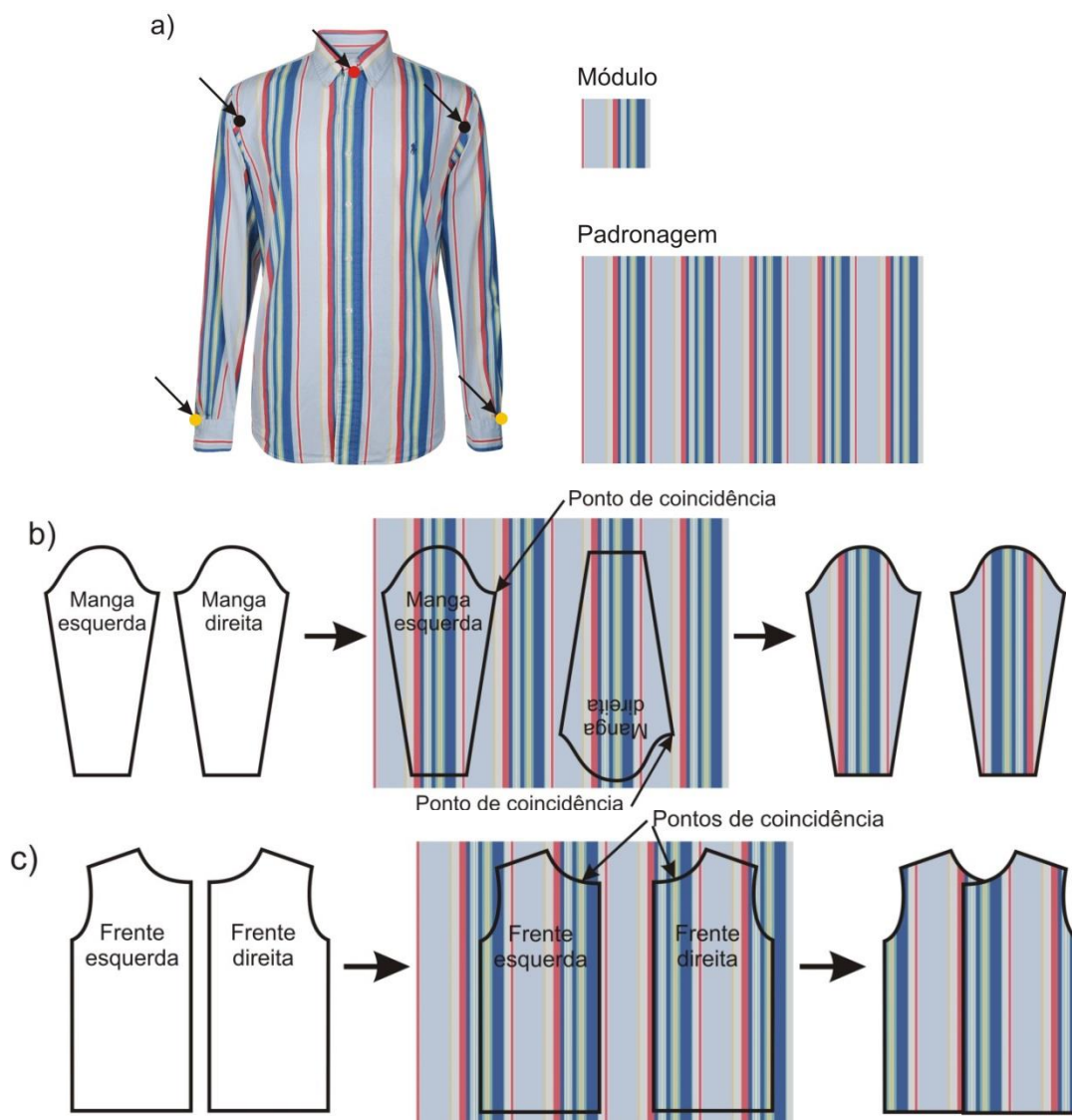
A Figura 48 apresenta outro exemplo de camisa com listra. Com o módulo maior do que a camisa do exemplo anterior fica mais evidente a necessidade dos pontos de coincidência nos locais em que há continuidade e simetria das listras. Neste exemplo, o tamanho do molde do punho é menor do que o módulo da listra. Assim, o mais importante é que os moldes do punho sejam colocados no processo de encaixe no mesmo local da listra, para garantir a simetria entre eles após a peça ser costurada.

Os pontos de coincidência para as mangas da camisa, destacados pelos círculos pretos na Figura 48a, também são fundamentais, já que também existe simetria nas mangas. Para que as mangas fiquem com o mesmo padrão de listra, os moldes devem ter o ponto de coincidência no mesmo local (espelhado verticalmente) e serem encaixados da seguinte forma: o molde da manga direita sem rotação e o molde da manga esquerda com rotação de 180° ou o contrário (fig. 48b). É possível observar na Figura 48a que houve uma preocupação com a localização dos moldes da manga no módulo da listra, porém nenhum molde rotacionou 180° .

A Figura 48c mostra o ponto de coincidência do transpasse do molde da frente esquerda e do molde da frente direita. Esse ponto de coincidência é fundamental para que, após a peça costurada, a parte do transpasse da frente, onde são colocados os botões, não interfira na continuidade das listras da padronagem da frente da camisa. Os exemplos das Figuras 48b e 48c também evidenciam o porquê que no encaixe dos moldes de roupas confeccionadas em tecidos com módulos de listra assimétricos não é

permitida a rotação em 180° de todos os moldes. Se a rotação fosse permitida, não seria possível garantir a continuidade e simetria das listras após a peça ser costurada. É importante não confundir a rotação do molde da manga direita mostrada na Figura 48b com a possibilidade de rotação em 180° para todos os moldes do modelo na etapa de encaixe. A rotação do molde na Figura 48b está relacionada ao modo como os dois moldes da manga devem ser colocados no tecido para garantir a simetria da peça após a sua confecção, ou seja, um sem rotação e o outro com rotação de 180° . Para camisas confeccionadas com módulo de listras em que a posição do módulo altera a estética da camisa, o molde das costas também deve ter um ponto de coincidência central.

Figura 48 – Camisa Polo Ralph Lauren fabricada em tecido listrado: a) Camisa com pontos de coincidência, módulo e padronagem; b) Orientação de como os moldes da manga da camisa devem ser colocados no tecido; c) Orientação de como os moldes da frente da camisa devem ser dispostos no tecido



Fonte: Baseado em Lauren [201-?]

Outra peça do vestuário em que é comum a utilização de listras são os suéteres. A Figura 49 apresenta um exemplo de suéter feminino confeccionado em malha retilínea e com padronagem listrada. Nessas peças há simetria entre as mangas e continuidade das listras na parte da frente com as mangas e as costas. Assim, o ponto de coincidência é na parte inferior da cava, tanto para os moldes da frente e costas como para os moldes da manga. Todos esses moldes devem ficar com a mesma altura no módulo durante a etapa de encaixe. É possível observar que o módulo de repetição é maior do que os moldes que compõem o suéter.

Figura 49 – Suéter Vince em tecido listrado



Fonte: Baseado em Vince [201-?]

Calças e shorts também são exemplos de roupas confeccionadas em tecidos listrados. A Figura 50 apresenta um exemplo de shorts feminino em tecido plano listrado. Há continuidade das listras entre os moldes da frente, das costas, espelho do bolso da frente e cós. Existe simetria nos bolsos das costas. Os pontos de coincidência das listras estão indicados através de círculos pretos e de um círculo azul. Os círculos pretos indicam os pontos de coincidência nos moldes: lateral da frente, lateral das costas e espelho do bolso da frente. Todas essas partes precisam ter a mesma altura no módulo de repetição da padronagem. O ponto de coincidência indicado nas costas através de um círculo preto não é necessário, uma vez que os pontos indicados na lateral da frente irão garantir que as listras da parte das costas também se encontrem. Para os moldes do cós também é preciso que eles estejam na mesma altura do módulo. Para a bermuda da Figura 50, é apresentada uma possibilidade de módulo das listras, uma vez que o comprimento do módulo é maior do que o comprimento da peça.

Figura 50 – Bermuda Stella McCartney confeccionada em tecido listrado



Fonte: Adaptado de McCartney [201-?]

De um modo geral, os pontos de coincidência de encaixe das listras nas calças são muito semelhantes aos mostrados na bermuda da Figura 50. Calças, assim como bermudas e saias, principalmente as peças confeccionadas em jeans ou sarja, muitas vezes possuem o molde da pala e presilhas. Em ambos os moldes deve ser pensado o encaixe das listras na peça final.

A Figura 51 apresenta um modelo de saia simples, sem recortes, bolsos, pala ou presilhas. Nesse modelo a continuidade das listras ocorre na parte da frente com a parte de trás da peça. Os únicos pontos de coincidência são as laterais da peça, indicados na Figura 51 pelos círculos vermelhos.

Figura 51 – Saia Chinti and Parker em tecido listrado



Fonte: Adaptado de Chinti and Parker [201-?]

A Figura 52 mostra um blazer confeccionado em tecido listrado. Há simetria das listras nos moldes da parte da frente, das costas e entre os moldes das mangas. O ponto de coincidência indicado pelo círculo azul é para os moldes da parte da frente. Para que as partes da frente do blazer fiquem como indicado na Figura 52 é preciso que os moldes sejam encaixados da seguinte forma: um lado sem rotação e o outro lado com rotação de 180° (considera-se neste exemplo que o molde da frente esquerda é igual ao da frente direita, porém espelhado verticalmente; assim como os moldes da manga). A linha vertical de encaixe no módulo deve ser a mesma.

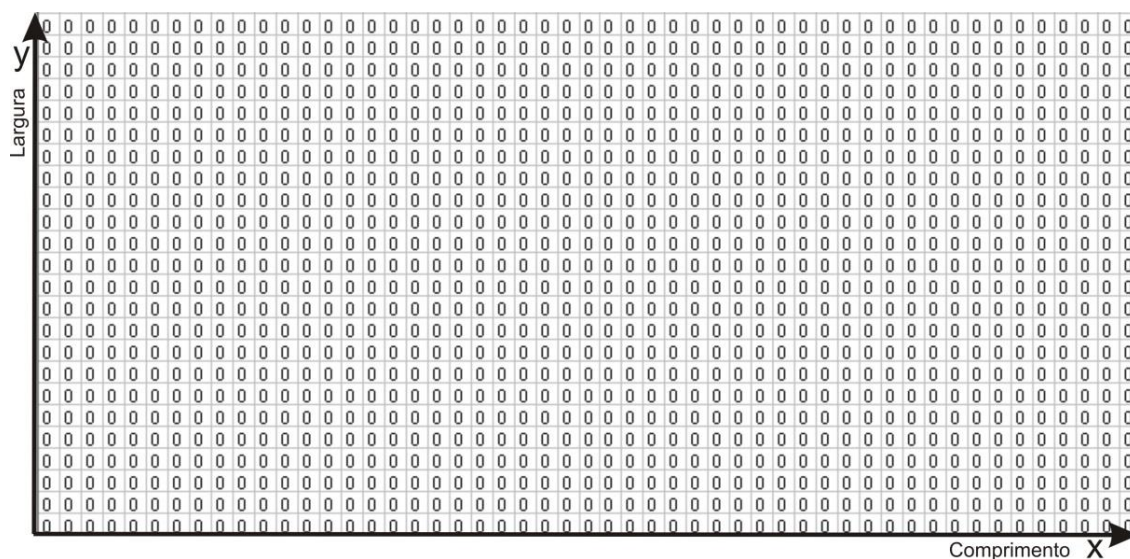
Figura 52 – Blazer Lanvin em tecido listrado



Fonte: Baseado em Lanvin [201-?]

Os exemplos descritos acima, de peças de roupas confeccionadas em tecidos listrados, evidenciam que cada peça que contenha listras exige uma análise anterior de suas partes e do módulo de listra que será utilizado. Aconselha-se a utilização dos conceitos de continuidade e simetria para definição dos pontos de coincidência nos moldes. Para cada tipo de peça do vestuário são definidos como os moldes devem ser dispostos sobre o tecido, as rotações permitidas e identificados os diferentes pontos de coincidência, que dependem dos moldes constituintes das peças.

Figura 54 – Representação gráfica de um tecido liso



Fonte: a Autora

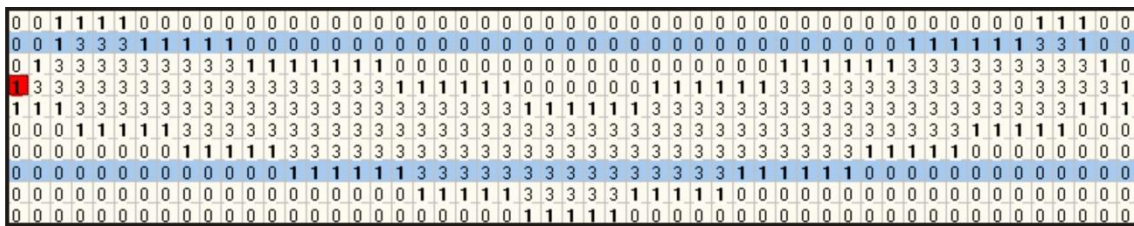
A cada etapa, e conforme os moldes são encaixados no tecido, os números contidos nos moldes passam para o tecido. Os conteúdos numéricos auxiliam o processo de encaixe através da detecção de moldes sobrepostos.

As cores são empregadas no método *raster* especificamente para auxiliar o encaixe de moldes em tecidos listrados. Para poder realizar o encaixe em tecidos listrados é preciso também trabalhar a representação gráfica dos moldes e do tecido: tipo de listra (vertical ou horizontal), tamanho do módulo da listra, *grid* de coincidência e identificação da localização do módulo da listra nos moldes e no tecido.

A representação dos tipos de listra, do tamanho do módulo da listra e a identificação da localização do módulo da listra nos moldes e no tecido são todas feitas através do preenchimento dos *grids* com a cor azul. Se a listra é vertical²¹, o molde contém linhas coloridas e se a listra é horizontal o molde contém colunas coloridas. O tamanho do módulo da listra é representado pela distância existente entre duas linhas ou duas colunas coloridas. A linha ou coluna que indica o início do módulo da listra é a que está preenchida pela cor azul. Essas informações podem ser vistas na Figura 55, que mostra um molde que será encaixado em um tecido com listras verticais, o tamanho do

²¹ Como citado anteriormente, os termos vertical e horizontal referem-se a como as listras estão dispostas no tecido. Para um melhor aproveitamento da interface no software Riscare Listrado, coloca-se a largura do tecido paralela à altura da tela do computador, assim, quando se fala em listras verticais elas aparecem como horizontais, e o contrário, listras horizontais ficam dispostas na vertical. Após o produto do vestuário confeccionado, as listras geralmente ficam no mesmo sentido que os seus nomes indicam.

Figura 56 – Representação gráfica de um molde com a localização do ponto de coincidência diferente do início do módulo da listra

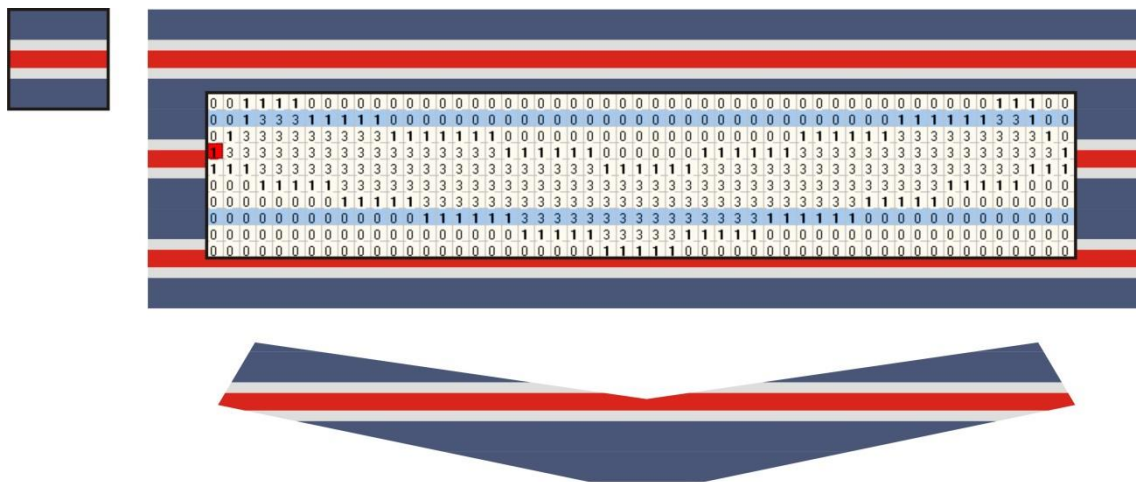


Fonte: a Autora

Através da visualização do molde da Figura 56 é possível descrever que ele será encaixado em um tecido com listras verticais, o tamanho do módulo é de seis unidades, o início do módulo da listra está distante em uma unidade da parte superior do molde e o ponto de coincidência está distante em três unidades da parte superior do molde e em duas unidades do início do módulo da listra.

A Figura 57 faz uma simulação da localização do molde da Figura 56 sobre um tecido listrado vertical, com o módulo simétrico, de listras com diferentes larguras e tamanho de seis unidades. O módulo da listra está no canto superior esquerdo da Figura 57, o molde sobre a padronagem do tecido no centro superior da Figura 57 e uma simulação de como o molde ficaria após a etapa de corte, na parte inferior da figura. É possível perceber na Figura 57 que os *grids* na cor azul do molde coincidem com o início do módulo da listra.

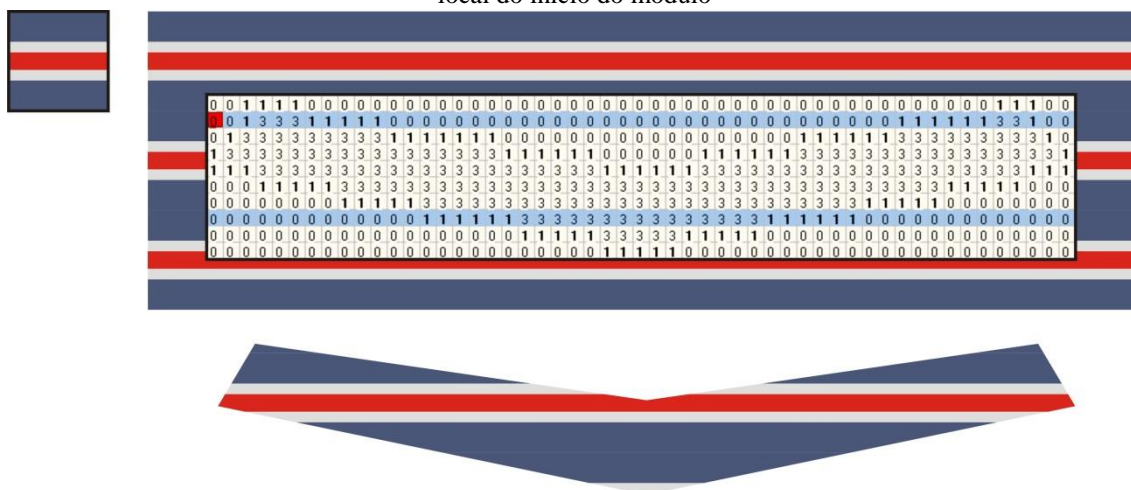
Figura 57 – Localização do molde sobre tecido quando o *grid* de coincidência é diferente do início do módulo



Fonte: a Autora

A Figura 58 faz outra simulação da localização do molde da Figura 56 sobre o mesmo tecido listrado da Figura 57. A diferença existente entre as Figuras 57 e 58 é a localização do ponto de coincidência do molde, que na Figura 58 está localizado na mesma posição do início do módulo da listra. Pela simulação do corte da peça é possível perceber que os moldes das Figuras 57 e 58 são iguais, não há diferença na localização da padronagem no molde.

Figura 58 – Localização do molde sobre tecido quando o *grid* de coincidência está no mesmo local do início do módulo



Fonte: a Autora

Assim, pode-se concluir que para a resolução técnica do problema de encaixe de moldes em tecidos listrados é somente necessário saber a localização do início do módulo na listra, independente se o ponto de coincidência está no mesmo local ou não que o início do módulo da listra. Porém, para o usuário final a identificação do ponto de coincidência nos moldes e a possibilidade de eles estarem em posição diferente do início do módulo são fundamentais (informação verbal²²). Esse recurso também se torna importante se o usuário final tiver disponível no software a imagem do tecido e quiser relacionar o ponto de coincidência com uma determinada listra do módulo. Possibilidade essa que pode ser estendida para diversas estampas. Assim, a partir de um ponto de coincidência definido pelo usuário pode-se calcular a localização do início do módulo no molde e utilizar essa informação para o encaixe.

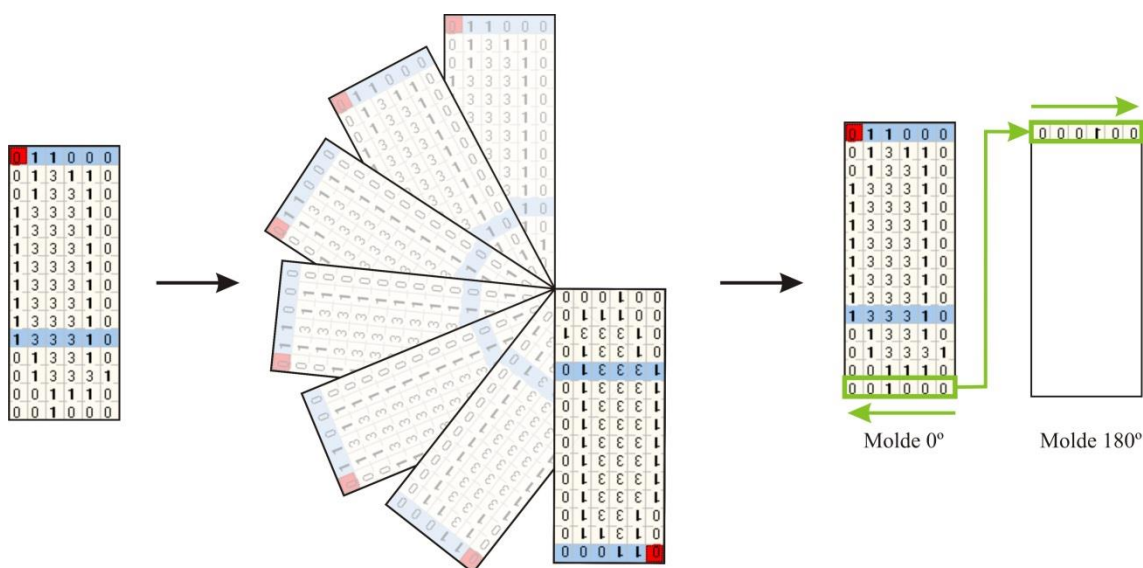
²² Comunicação pessoal com José G. Ribeiro, Especialista em Software da Empresa Lectra, pessoalmente na Feira Brasileira para a Indústria Têxtil (FEBRATEX), em agosto de 2014.

6.2 ROTAÇÃO DOS MOLDES EM 180°

Os moldes possuem uma orientação inicial de 0°, porém pode ser desejável que os moldes rotacionem em 180° na etapa de encaixe, para melhorar a eficiência. Dos problemas benchmarks apresentados no subcapítulo Características dos métodos de solução para o problema do encaixe (3.4.10), todos os benchmarks que são exemplos de problemas da indústria do vestuário permitem a orientação dos moldes em 0° e 180°.

Para poder rotacionar os moldes em 180° é preciso criar uma nova matriz com modificações nas posições numéricas e nas cores. A Figura 59 apresenta um molde sem rotação (0°), uma simulação da rotação em 180° e o início da construção do novo molde com rotação. O novo molde (180°) terá a mesma largura e comprimento do molde sem rotação. As informações numéricas no molde com rotação de 180° são preenchidas a partir da primeira linha do novo molde, no sentido da esquerda para a direita e recebem o conteúdo numérico da última linha do molde sem rotação no sentido da direita para a esquerda. A segunda e demais linhas são construídas da mesma forma, até que a última linha do molde 180° recebe as informações da primeira linha do molde 0°.

Figura 59 – Construção do molde com rotação de 180°

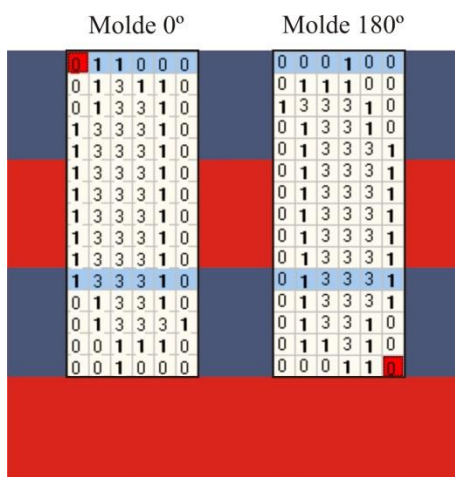


Fonte: a Autora

A Figura 60 mostra o molde 0° e o molde 180°, representados através da matriz, contendo as informações numéricas nos *grids* e as cores indicativas do início do módulo (azul) e do ponto de coincidência (vermelho). Também há uma padronagem atrás dos

moldes para demonstrar que o início do módulo da listra garante que após o molde 180° ser cortado, não será possível distingui-lo do molde 0°.

Figura 60 – Molde com rotação de 0° e molde com rotação de 180° em tecido listrado



Fonte: a Autora

Na Figura 60 o início do módulo do molde 0° e do molde 180° é o mesmo, porém isso não ocorre com a maioria dos moldes depois da rotação. Para todos os moldes é preciso calcular a nova localização do módulo no molde rotacionado. Assim, depois de cortado o molde 180° terá a mesma aparência do molde 0°. Como citado no subcapítulo Padronagem de tecidos listrados (2.2), os módulos dos tecidos listrados podem ter uma única largura de listra, como na Figura 60, ou mais de uma largura de listra. Para tecidos com mais de uma largura de listra, só é permitida a rotação em 180° se o módulo for simétrico. A identificação da localização do módulo no molde e o cálculo para a definição da localização do módulo no molde 180° são tratados no próximo subcapítulo.

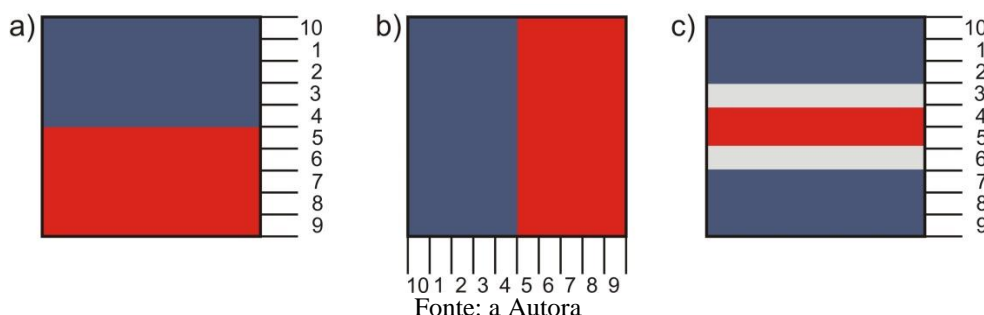
6.3 IDENTIFICAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DO MÓDULO NO MOLDE

Como descrito no subcapítulo anterior, o início do módulo dos moldes é representado graficamente através da cor azul. Além dessa informação, atribui-se um valor para cada primeira linha ou coluna do molde e do tecido. Quando as listras são verticais, a primeira linha dos moldes e do tecido recebe um número que identifica sua posição no módulo da listra. Esse valor é aqui denominado de localização do módulo no molde e localização do módulo no tecido. Quando as listras são horizontais, é a primeira coluna que recebe esse valor. O maior valor utilizado é igual ao tamanho do módulo da

listra (*TI*) e o menor é 1 unidade. O início do módulo (*grids* em azul) recebem o valor do tamanho do módulo da listra. Os valores vão diminuindo consecutivamente até chegar a 1 unidade. Esses valores são empregados no molde para saber em que posição do módulo podem ser inseridos na etapa de encaixe. Enquanto que no tecido, é utilizado para identificar a localização do módulo e sua repetição.

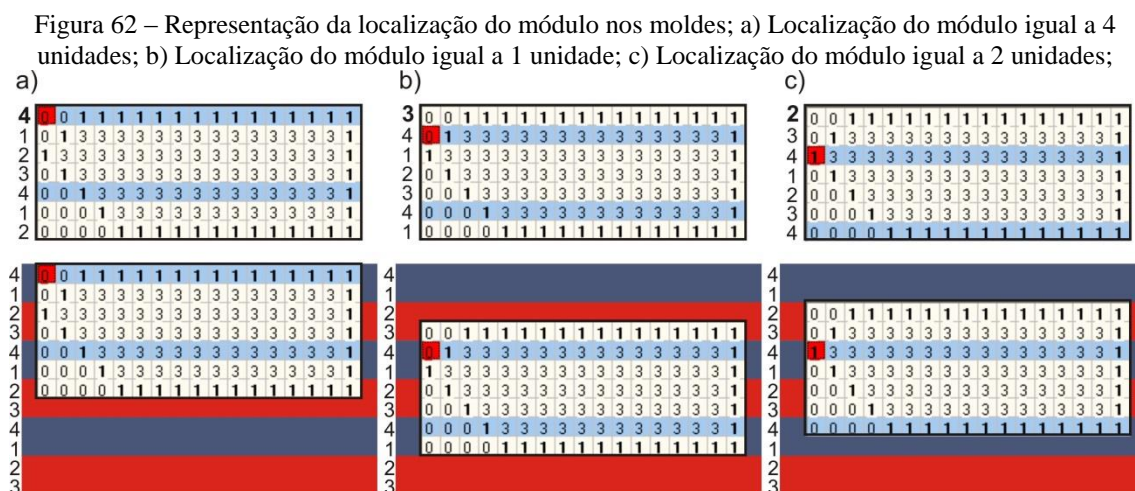
A Figura 61 mostra três exemplos de módulos de listra com os valores para todas as partes do módulo. A Figura 61a apresenta um módulo com listras verticais de uma única largura e tamanho de 10 unidades, o início do módulo começa na parte superior da listra azul. A Figura 61b exibe um módulo com listras horizontais de uma única largura e tamanho de 10 unidades, o início do módulo está localizado na lateral esquerda da listra azul. A Figura 61c expõe um módulo com listras verticais com três larguras diferentes e tamanho de 10 unidades, o início do módulo localiza-se na parte superior da primeira listra azul.

Figura 61 – Módulos com valores para o início do módulo; a) Módulo vertical com listras de mesma largura; b) Módulo horizontal com listras de mesma largura; c) Módulo vertical com listras de três larguras diferentes



A Figura 62 mostra como os números que identificam a localização do módulo são utilizados nos moldes. Todos os exemplos da Figura 62 são do mesmo molde com listra vertical e tamanho do módulo de 4 unidades, a única diferença está na localização do módulo no molde. Na Figura 62a a localização do módulo no molde, indicado pelos *grids* da linha superior, tem valor igual a 4 unidades. Assim o molde é disposto sobre o tecido coincidindo a parte superior com o início do módulo da listra. Na Figura 62b a localização do módulo no molde tem valor igual a 3 unidades. É possível perceber que a posição do molde no tecido inicia na parte inferior do módulo. Na Figura 62c a localização do módulo no molde tem valor de 2 unidades, ou seja, metade do tamanho do módulo. Dessa forma, a parte superior do molde coincide com a metade do módulo.

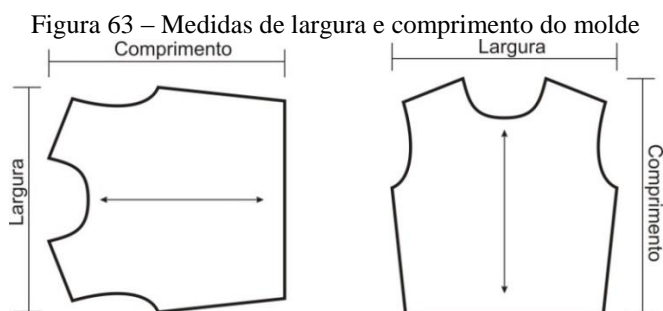
Essa representação, exemplificada com os moldes da Figura 62 é fundamental para a disposição dos moldes sobre o tecido na etapa de encaixe, assim como para os cálculos de rotação dos moldes em 180°.



Fonte: a Autora

Para saber a localização do módulo nos moldes rotacionados em 180° é preciso fazer alguns cálculos. Esses são feitos de duas formas distintas: para módulos com uma única largura de listra (duas situações possíveis) e para módulos com duas ou mais larguras diferentes de listras (três situações possíveis).

Antes de descrever todas as situações possíveis e os cálculos para cada uma delas é preciso definir as dimensões de largura e de comprimento do molde. Essas medidas têm como referência o fio do molde. A medida paralela ao fio do molde é denominada de comprimento e a medida transversal ao fio do molde é chamada de largura. A Figura 63 mostra um molde com as suas dimensões de largura e comprimento. Independente da forma de visualização do molde, as dimensões se mantêm com a mesma nomenclatura.



Fonte: a Autora

Para a resolução da nova localização do módulo em moldes rotacionados, também é preciso calcular para listras verticais o resto (R) da divisão da largura do molde (Am) pelo tamanho do módulo da listra (Tl), através da Equação 4.

$$R = MOD \left(\frac{Am}{Tl} \right) \quad (4)$$

Onde:

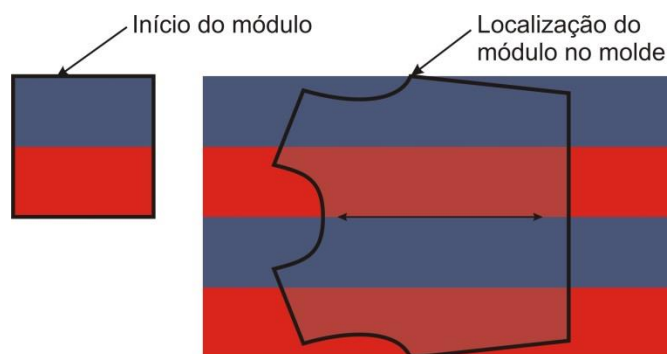
MOD = função que retorna o resto da divisão do dividendo pelo divisor.

Para listras horizontais é preciso calcular o resto (R) da divisão do comprimento do molde (Cm) pelo tamanho do módulo da listra (Tl), através da Equação 5:

$$R = MOD \left(\frac{Cm}{Tl} \right) \quad (5)$$

O resultado igual a zero da Equação 4 indica que se a localização do módulo no molde for igual ao tamanho do módulo da listra (Tl), uma das laterais do molde irá coincidir com o início do módulo e o final do módulo irá terminar exatamente na outra lateral do molde, podendo o módulo estar repetido dentro do molde mais de uma vez. A Figura 64 exemplifica essa possibilidade, no canto superior esquerdo está o módulo da listra com a indicação do início do módulo, no centro o molde sobre a padronagem com a localização do módulo no molde.

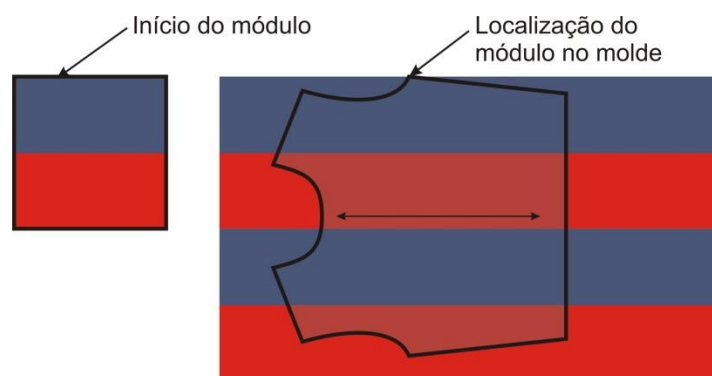
Figura 64 – Início do molde coincide com o início do módulo, assim como o final do molde que está na mesma posição do final do módulo



Fonte: a Autora

O resultado da Equação 4 diferente de zero sinaliza que se a localização do módulo no molde estiver na lateral do molde, o final do módulo nunca irá terminar exatamente na outra lateral do molde. A Figura 65 mostra essa ocorrência, no canto superior esquerdo está o módulo da listra e no centro o molde sobre a padronagem com a localização do módulo no molde.

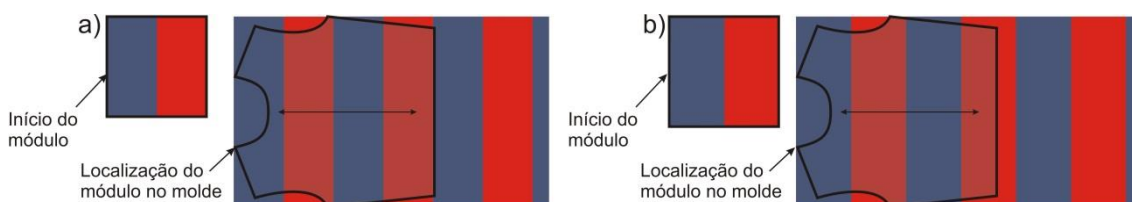
Figura 65 – Início do molde coincide com o início do módulo, mas o final do molde não se encontra na mesma posição do final do módulo



Fonte: a Autora

Para listras horizontais deve-se utilizar a Equação 5. O resultado igual a zero indica que se a localização do módulo iniciar na parte superior do molde, o final do módulo irá terminar na parte inferior do molde, não importando quantas vezes o módulo esteja repetido dentro do molde. Para resultado diferente de zero isso nunca ocorre. A Figura 66 exemplifica essas duas situações. Na Figura 66a está disposto o molde que inicia e termina junto com o módulo. Na Figura 66b o molde não termina junto com o final do módulo.

Figura 66 – Localização dos moldes sobre o módulo; a) Parte superior e inferior do molde coincide com o módulo; b) Parte superior do molde está na mesma posição do início do módulo, porém a parte inferior do molde não coincide com o fim do módulo



Fonte: a Autora

Como citado anteriormente, há duas situações possíveis para calcular a localização do módulo no molde rotacionado em 180° em módulos com uma única largura de listra e três situações possíveis em módulos com duas ou mais larguras de listras. Essas possibilidades serão descritas nos próximos dois subcapítulos: Rotação de moldes em módulos com uma única largura de listra e Rotação de moldes em módulos com duas ou mais larguras de listras.

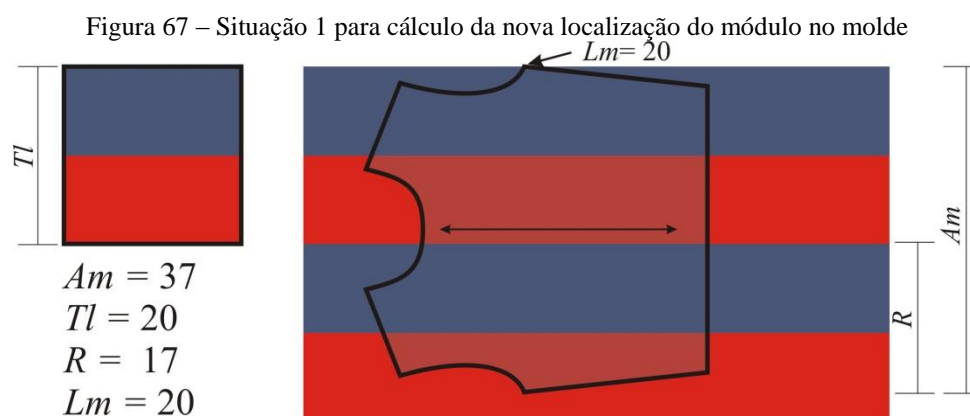
6.3.1 Rotação de moldes em módulos com uma única largura de listra

Para rotação de moldes em módulos com uma única largura de listra há 2 situações possíveis. Independente se o módulo é de uma listra vertical ou horizontal, a quantidade de possibilidades serão as mesmas. A única diferença será que para listras verticais utiliza-se a Equação 4 e para listras horizontais a Equação 5. Os exemplos utilizados neste subcapítulo são de listras verticais, assim, usa-se a Equação 4.

A possibilidade 1 para rotação do molde em 180° é empregada quando o resultado da Equação 4 é diferente de zero. A situação 2 é utilizada para resultados iguais a zero na Equação 4.

6.3.1.1 Situação 1

A situação 1 ocorre se o resto que sobra do molde, calculado pela Equação 4, é diferente de zero. A Figura 67 apresenta um exemplo dessa situação, em que é possível perceber que a lateral inferior do molde não termina junto com o módulo da listra na padronagem.



Fonte: a Autora

Considerando que o módulo da Figura 67 tem tamanho de 20 unidades e o molde largura de 37 unidades, o resultado da Equação 4 é de 17 unidades. Para poder rotacionar em 180° os moldes que se encontram na possibilidade 1 emprega-se a Equação 6. A Equação 6 calcula uma variável auxiliar ($ANLm$) que é utilizada na Equação 7 para conhecer a nova localização do módulo (NLm) do molde rotacionado em 180°. O resultado da Equação 6 é obtido através da soma da localização do módulo no molde 0° (Lm) com o resultado da Equação 4 (R) subtraído da divisão entre o tamanho do módulo da listra vertical (Tl) por dois.

$$ANLm = Lm + R - \frac{Tl}{2} \quad (6)$$

Para a Equação 6, assim como para as demais Equações que serão apresentadas neste subcapítulo, foram feitas várias tentativas que apresentassem a posição correta do NLm em situações e problemas completamente distintos. Para o exemplo da Figura 67, o resultado da Equação 6 ($Tl = 20$; $Lm = 20$; $R = 17$) seria de 27 unidades. Se os resultados obtidos na Equação 6 são maiores do que o tamanho do módulo da listra vertical (Tl) eles sofrem subtração consecutiva do valor Tl até serem menores ou iguais a ele. Esse procedimento é para evitar resultados negativos para a nova localização do módulo no molde (NLm). Assim, o resultado final da Equação 6 seria 7 unidades.

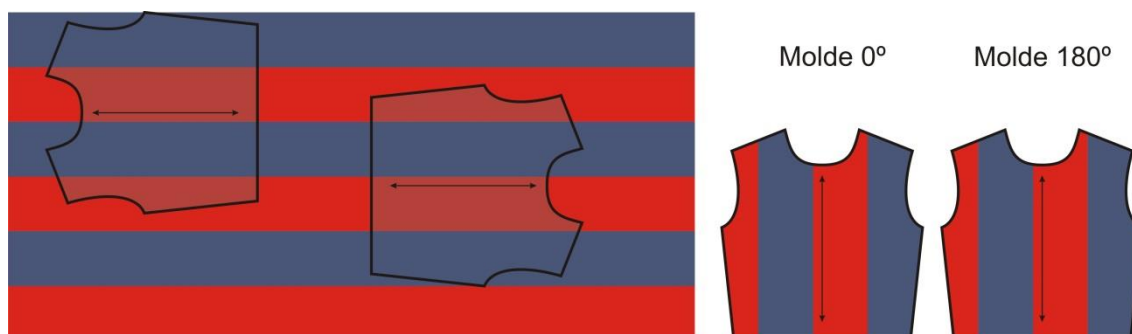
A Equação 7 calcula a nova localização do módulo (NLm) do molde rotacionado em 180° através da subtração do tamanho do módulo da listra (Tl) pelo resultado da Equação 6.

$$NLm = Tl - ANLm \quad (7)$$

Assim, a nova localização do módulo do molde rotacionado em 180° seria igual a 13 unidades. A Figura 68 mostra no lado esquerdo o molde 0° e o molde 180° dispostos sobre o tecido e no lado direito uma simulação de como as peças ficariam após a etapa de corte. O molde 0° tem localização do módulo (Lm) igual a 20 unidades, enquanto o molde 180° tem localização do módulo (NLm) igual a 13 unidades. Essa diferença de valores entre a localização do módulo no molde é necessária para a colocação correta dos moldes no tecido na etapa de encaixe. É possível perceber que se

os moldes da Figura 68 fossem cortados, não seria possível identificar qual deles foi rotacionado.

Figura 68 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com o cálculo da situação 1

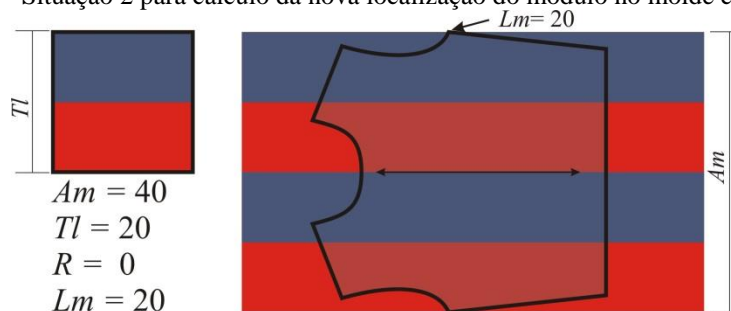


Fonte: a Autora

6.3.1.2 Situação 2

A situação 2 ocorre se o resultado da Equação 4 é igual a zero. A Figura 69 exemplifica essa situação quando a localização do módulo no molde (Lm) é igual ao tamanho do módulo da listra (Tl).

Figura 69 – Situação 2 para cálculo da nova localização do módulo no molde com $Lm = 20$



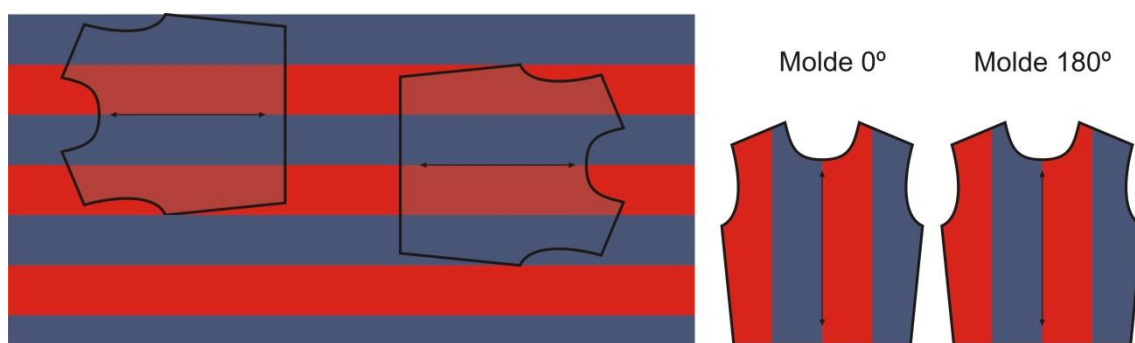
Fonte: a Autora

Para rotacionar em 180° os moldes classificados na possibilidade 2 utiliza-se a Equação 8. A Equação 8 calcula a nova localização do módulo do molde rotacionado em 180° (NLm). A nova localização do módulo (NLm) é igual a multiplicação do coeficiente empírico determinado por testes (K) pelo tamanho do módulo da listra (Tl) menos a localização do módulo no molde 0° (Lm). Para a Equação 8 utilizou-se $K = 2,5$.

$$NLm = K \times Tl - Lm \quad (8)$$

Considerando-se que o módulo da Figura 69 tenha tamanho igual a 20 unidades, e o molde largura de 40 unidades, o resultado da Equação 4 seria zero, condição para o problema ser classificado na situação 2. Para o problema apresentado na Figura 68, a localização do módulo no molde ($Lm = 20$) e o tamanho do módulo da listra ($Tl = 20$) possuem o mesmo valor, assim o resultado da Equação 8 seria igual a 30 unidades. Como na Equação 6, e nas demais que serão apresentadas, os valores maiores do que o tamanho do módulo da listra vertical (Tl) sofrem subtração consecutiva do valor Tl até serem menores ou iguais a ele. Assim, o resultado final seria 10 unidades, ou seja, exatamente na metade do módulo. A Figura 69 apresenta o molde 0° e o molde 180° dispostos sobre o tecido listrado e uma simulação de como ficariam as peças após a etapa de corte. É possível observar na Figura 70 início módulo do molde 180° (NLm) exatamente na metade do módulo da listra.

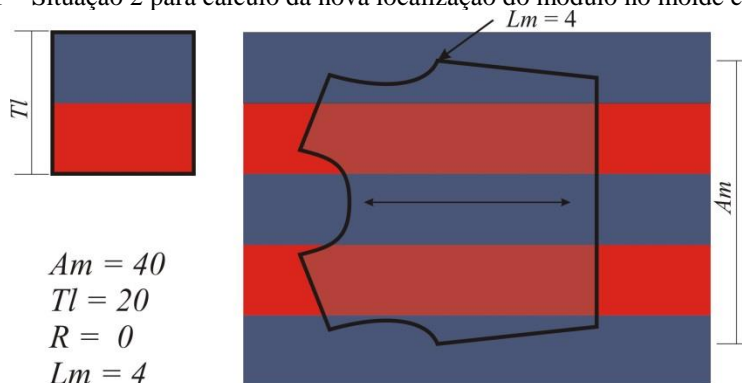
Figura 70 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com $Lm = 20$ e $NLm = 10$



Fonte: a Autora

A Figura 71 mostra um exemplo também da situação 2, porém a localização do módulo no molde 0° (Lm) é menor do que a metade do tamanho da listra ($\frac{Tl}{2}$).

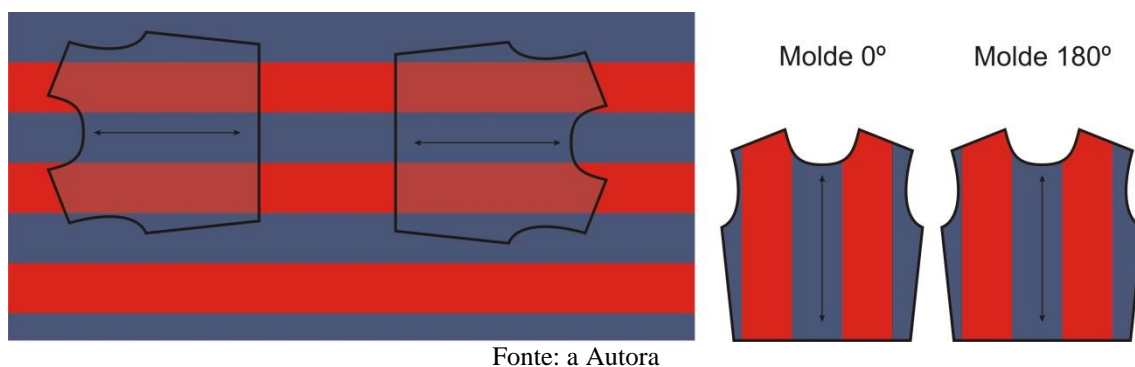
Figura 71 – Situação 2 para cálculo da nova localização do módulo no molde com $Lm = 4$



Fonte: a Autora

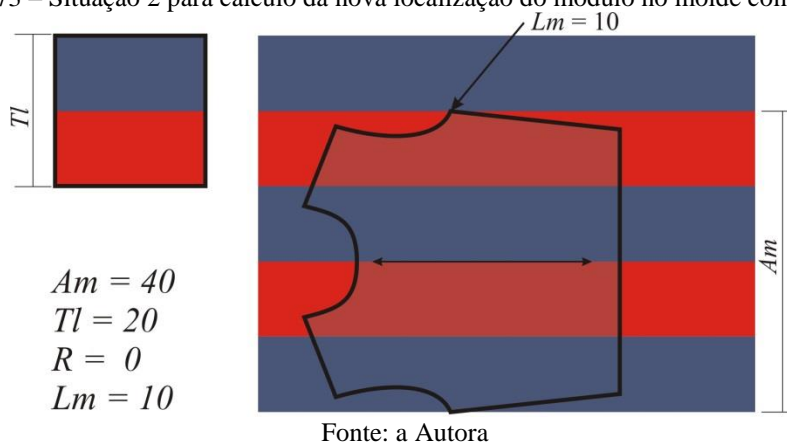
Considera-se para a Figura 71 as mesmas medidas de módulo e largura do molde da Figura 69 e a localização do módulo (Lm) é igual a 4 unidades. Para o problema apresentado na Figura 71 o resultado da Equação 8 seria igual a 46 unidades e resultado final igual a 6 unidades. A Figura 72 apresenta o molde 0° e o molde 180° dispostos sobre o tecido listrado e uma simulação de como ficariam as peças após a etapa de corte.

Figura 72 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com $Lm = 4$ e $NLm = 6$



A Figura 73 mostra outro exemplo da situação 2, em que a localização do módulo no molde 0° (Lm) é igual a metade do tamanho da listra ($\frac{Tl}{2}$).

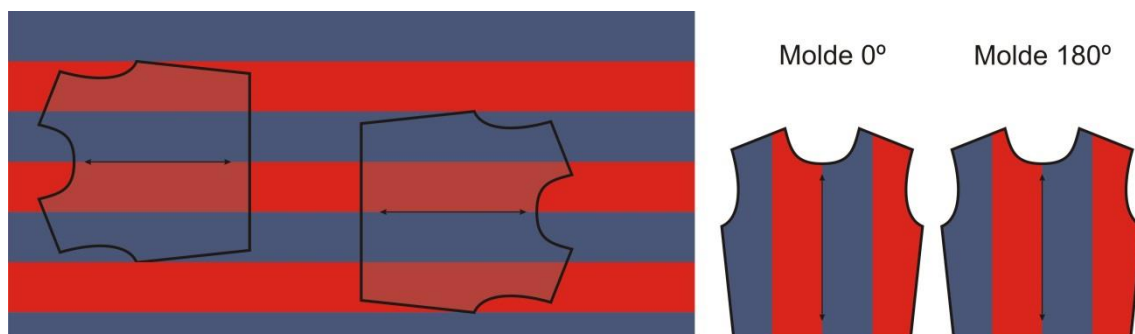
Figura 73 – Situação 2 para cálculo da nova localização do módulo no molde com $Lm = 10$



O exemplo mostrado na Figura 73 possui as mesmas medidas de módulo e largura do molde da Figura 69. Sabe-se também que a localização do módulo ($Lm = 10$) é igual a metade do tamanho da listra ($\frac{Tl}{2} = 10$). Para o problema apresentado na Figura 73 a Equação 8 teria resultado igual a 40 unidades e resultado final de 20 unidades. A

Figura 74 mostra os dois moldes colocados sobre o tecido listrado e uma simulação de como ficariam as peças após a etapa de corte.

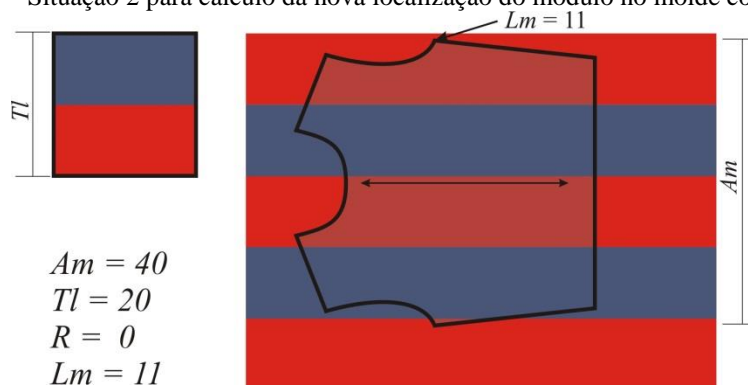
Figura 74 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com $Lm = 10$ e $NLm = 20$



Fonte: a Autora

A Figura 75 exemplifica outro exemplo da possibilidade 2 com a localização do módulo no molde 0° (Lm) menor que o tamanho do módulo da listra (Tl) e maior que a metade do tamanho da listra ($\frac{Tl}{2}$).

Figura 75 – Situação 2 para cálculo da nova localização do módulo no molde com $Lm = 11$

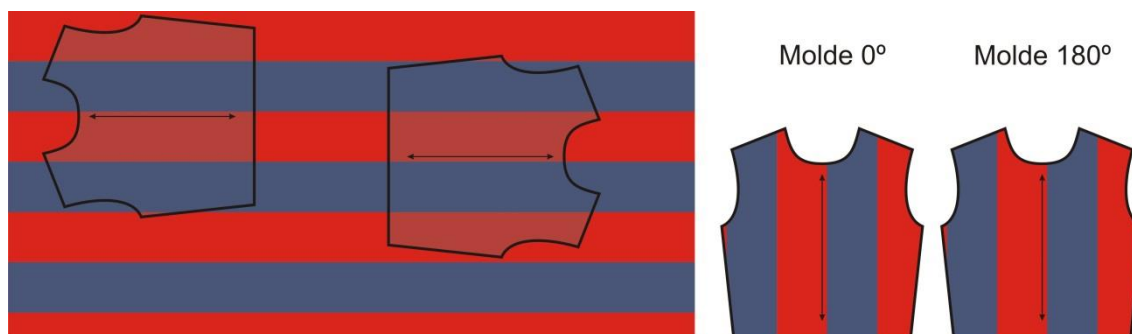


Fonte: a Autora

O exemplo mostrado na Figura 75 também possui as mesmas medidas de módulo e largura do molde da Figura 69. A localização do módulo ($Lm = 11$) é maior do que a metade do tamanho do módulo da listra ($\frac{Tl}{2} = 10$) e menor do que o tamanho do módulo da listra (Tl). Para o problema apresentado na Figura 75 a Equação 8 teria resultado igual a 39 unidades. Como citado anteriormente, os valores maiores do que o tamanho do módulo da listra vertical (Tl) sofrem subtração consecutiva do valor Tl até serem menores ou iguais a ele. Assim, o resultado final seria de 19 unidades. A Figura

76 mostra o molde 0° e o molde 180° dispostos sobre o tecido e ao lado como ficariam as peças após a etapa de corte.

Figura 76 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com $Lm = 11$ e $NLm = 19$



Fonte: a Autora

Assim, pode-se perceber que a Equação 8 pode ser utilizada para diferentes valores de localização do módulo do molde (Lm).

Como citado no início deste subcapítulo, as 2 possibilidades descritas podem ser utilizadas para listras verticais ou horizontais, sem que seja necessária nenhuma mudança nas Equações apresentadas. O próximo subcapítulo mostra os casos de rotação de moldes em módulos com duas ou mais larguras de listras.

6.3.2 Rotação de moldes em módulos com duas ou mais larguras de listras

Para rotação de moldes em módulos com duas ou mais larguras de listras há 3 situações possíveis. Do mesmo modo que ocorre para rotação de moldes em módulos com uma única listra, as possibilidades apresentadas não dependem se a listra é vertical ou horizontal. A diferença será que para listras verticais emprega-se a Equação 4 e para listras horizontais a Equação 5. Os exemplos utilizados neste subcapítulo são de listras horizontais, assim, usa-se a Equação 5.

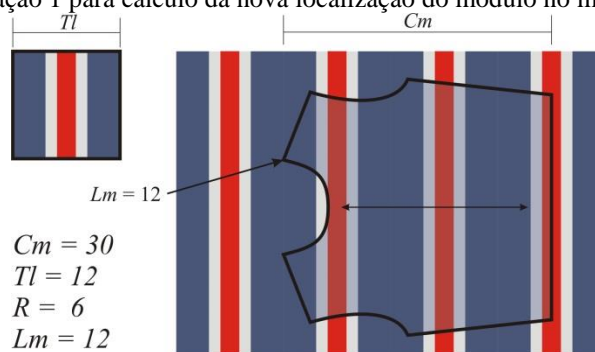
6.3.2.1 Situação 1

A situação 1 para rotação do molde em 180° é empregada quando o resultado da Equação 5 é diferente de zero. As possibilidades 2 e 3 são para resultados iguais a zero na Equação 5.

A situação 1 ocorre se o resto que sobra do molde, calculado pela Equação 5, é diferente de zero. A Figura 77 apresenta um exemplo dessa situação, onde se percebe

que a parte do ombro do molde inicia junto com o início do módulo da listra, mas termina na metade do módulo.

Figura 77 – Situação 1 para cálculo da nova localização do módulo no molde com $Lm = 12$

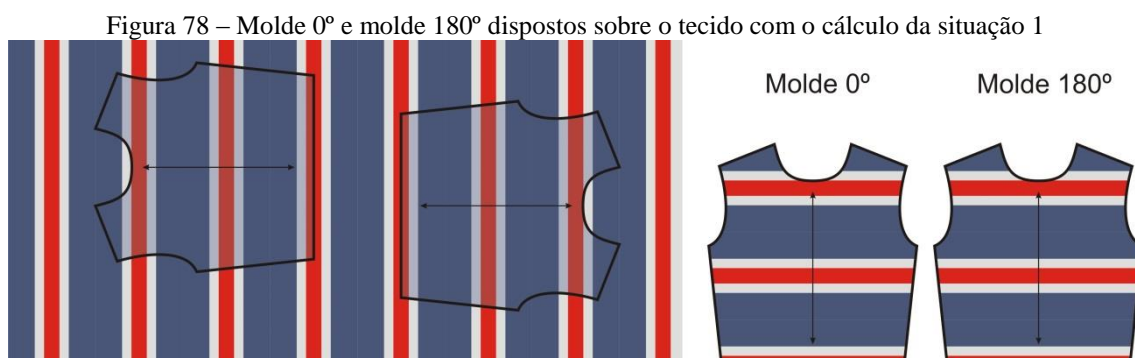


Fonte: a Autora

Considerando que o módulo da Figura 77 tem tamanho de 12 unidades e o molde comprimento de 30 unidades, o resultado da Equação 5 é de 6 unidades. Para poder rotacionar em 180° os moldes que se encontram na possibilidade 1 emprega-se a Equação 9. A Equação 9 calcula a nova localização do módulo (NLm) do molde rotacionado em 180° através da multiplicação do coeficiente empírico determinado por testes (K) pelo tamanho do módulo da listra (Tl) subtraído do resultado da Equação 5 (R) e da localização do módulo do molde 0° (Lm). Para a Equação 9 utilizou-se $K = 2$.

$$NLm = K \times Tl - R - Lm \quad (9)$$

Para o exemplo da Figura 77, o resultado da Equação 9 ($Lm = 12$; $R = 6$; $Tl = 12$) seria de 6 unidades. A Figura 78 mostra no lado esquerdo o molde 0° e o molde 180° dispostos sobre o tecido e no lado direito uma simulação de como as peças ficariam após a etapa de corte.

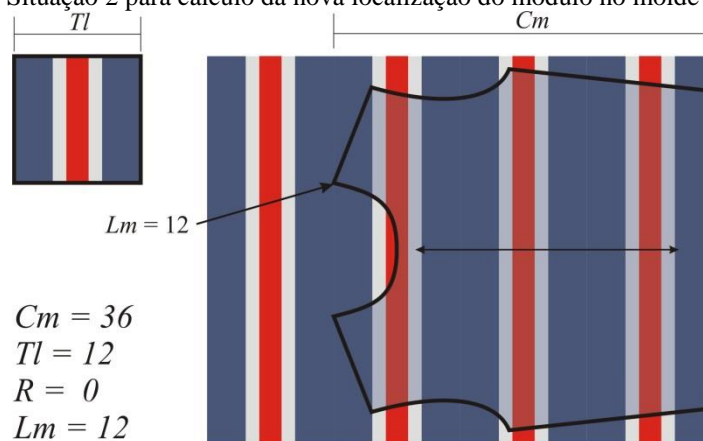


Fonte: a Autora

6.3.2.2 Situação 2

A situação 2 ocorre quando o resultado da Equação 5 é igual a zero e se a localização do módulo no molde 0° (Lm) é igual ao tamanho do módulo da listra (Tl). A Figura 79 mostra um exemplo dessa possibilidade.

Figura 79 – Situação 2 para cálculo da nova localização do módulo no molde com $Lm = 12$



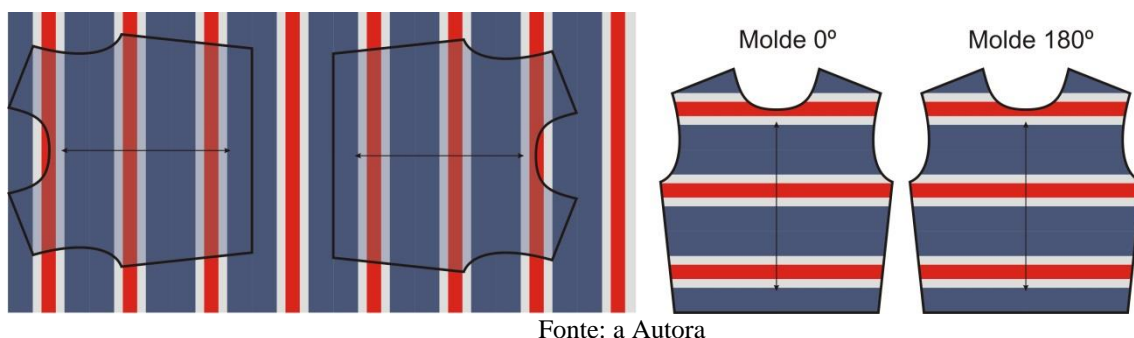
Fonte: a Autora

Para o exemplo da Figura 79 o módulo tem tamanho de 12 unidades e o molde comprimento de 36 unidades. Assim, o resultado da Equação 5 é igual a zero. Essa é a primeira condição para o problema ser classificado na situação 2. A segunda condição é a localização do módulo no molde 0° ($Lm = 12$) ter o mesmo valor do tamanho do módulo da listra ($Tl = 12$), o que também é verdadeiro. A Equação 10 é utilizada para calcular a nova localização do módulo nos moldes rotacionados em 180° . Segundo a Equação 10 a nova localização do módulo (NLm) do molde rotacionado em 180° é igual localização do módulo no molde 0° (Lm).

$$NLm = Lm \quad (10)$$

Assim, o resultado da Equação 10 ($Lm = 12$) seria de 12 unidades. Para o cálculo da situação 2 poderia também ser utilizada a Equação 9. Como nos exemplos anteriores, a Figura 80 exhibe os dois moldes sobre o tecido e após a etapa de corte.

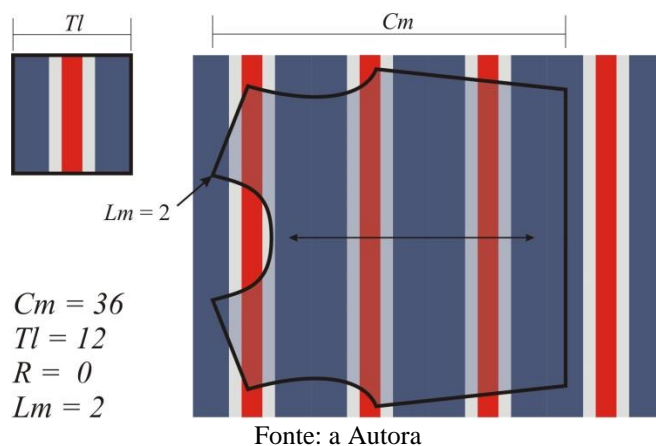
Figura 80 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com o cálculo da situação 2



6.3.2.3 Situação 3

A situação 3 acontece quando o resultado da Equação 5 é igual a zero e se localização do módulo no molde 0° (Lm) é menor do que o tamanho do módulo da listra (Tl). A Figura 81 mostra um exemplo dessa possibilidade.

Figura 81 – Situação 3 para cálculo da nova localização do módulo no molde com $Lm = 2$

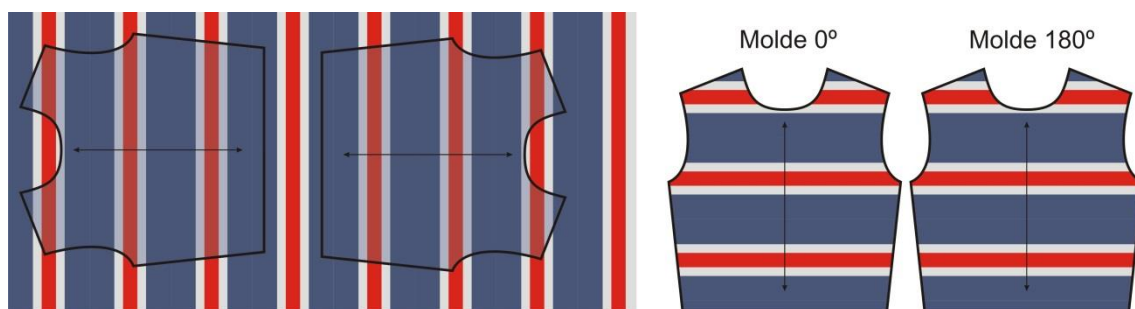


O exemplo da Figura 81 tem as mesmas medidas da Figura 79, assim o resultado da Equação 5 é igual a zero. Para o cálculo da nova localização do módulo (NLm) empregou-se a Equação 11. O resultado da Equação 11 é igual ao tamanho do módulo da listra (Tl) menos a localização do módulo no molde 0° (Lm).

$$NLm = Tl - Lm \quad (11)$$

No exemplo da Figura 81 a localização do módulo no molde 0° (Lm) é igual a 2 unidades. Assim, o resultado da Equação 11 seria de 10 unidades. A Figura 82 mostra os moldes sobre o tecido e após a etapa de corte.

Figura 82 – Molde 0° e molde 180° dispostos sobre o tecido com o cálculo da situação 3

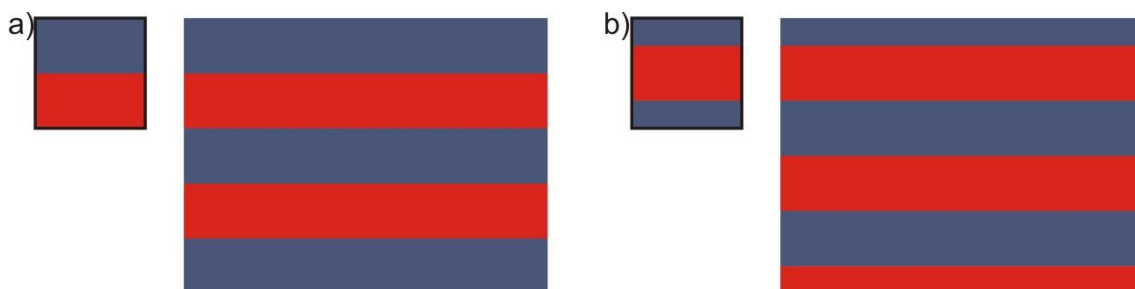


Fonte: a Autora

Assim, como citado no início deste subcapítulo, a rotação de moldes em módulos com duas ou mais larguras de listras apresentam 3 possibilidades. As Equações mostradas para cada uma das situações podem ser utilizadas para listras verticais ou horizontais.

O cálculo da nova localização do módulo no molde 180° (NLm) poderia ser simplificado, já que módulos de listras com uma única largura podem ser vistos da mesma forma que módulos com diferentes larguras de listra. A Figura 83 mostra um exemplo das duas formas que se pode definir o módulo de uma listra com uma única largura. Na Figura 83a o módulo é dividido na metade, a parte superior é uma listra e a inferior é outra listra. Enquanto que na Figura 83b uma das listras do módulo fica no centro, enquanto a outra listra é a soma das listras da parte inferior e superior do módulo.

Figura 83 – Módulos diferentes para listra unidimensional



Fonte: a Autora

Optou-se no presente trabalho em não entender o módulo das listras com uma única largura da forma apresentada na Figura 83b por saber que as laterais dos tecidos listrados, como descrito no capítulo 2, são como os da Figura 83a. Dessa forma, poderia haver prejuízo na eficiência do encaixe de problemas reais da indústria do vestuário.

Nos próximos dois capítulos são apresentados, respectivamente, os dois algoritmos empregados para o problema do encaixe. São duas soluções diferentes para o mesmo problema de encaixe. As informações apresentadas no presente capítulo são utilizadas em ambos os métodos.

7. ALGORITMO DE ENCAIXE COM PRÉ-PROCESSAMENTO

O algoritmo apresentado neste capítulo realiza o encaixe de moldes em tecidos listrados através de duas etapas: pré-processamento e encaixe. A ideia de executar uma etapa de pré-processamento para o método *raster* surgiu do conceito do polígono *no-fit*, onde uma peça desliza sobre a outra e se obtém um conjunto de posições possíveis entre duas peças (BENNEL e OLIVEIRA, 2008). Para a construção do encaixe e definição da sequência de moldes utilizam-se as informações obtidas na etapa de pré-processamento. Essas duas etapas, pré-processamento e construção do encaixe, são detalhadas nos próximos subcapítulos.

7.1 ETAPA DE PRÉ-PROCESSAMENTO

A etapa de pré-processamento ocorre depois da definição, pelo usuário, de quais moldes que serão encaixados, os pontos de coincidência e o tamanho do módulo da listra. A etapa de pré-processamento faz uma combinação entre dois moldes. Essa combinação é feita para todos os moldes. Assim, para cada uma das combinações guarda-se um conjunto de posições admissíveis de encaixe.

No caso de uma peça composta por três moldes (frente, costas e manga²³), o molde da frente combina com o molde das costas, da manga e outro da frente. O molde das costas, também combina com outro molde das costas, o da frente e o molde da manga. A manga, também combina com outro molde de manga, com o da frente e com o das costas. Os moldes são combinados entre eles porque normalmente o encaixe é feito com mais de uma peça do mesmo modelo. Os moldes também combinam entre si mais de uma vez, isso ocorre porque na etapa de pré-processamento um molde é definido como Peça móvel (*Pm*) e o outro como Peça fixa (*Pf*).

Para fazer o encaixe entre dois moldes, na etapa de pré-processamento, é necessária uma pequena amostra do tecido. Essa amostra não precisa ter a mesma largura e o comprimento do tecido do encaixe, mas é preciso que ela tenha um tamanho que possa conter os dois moldes. O molde *Pf* é inserido no centro do tecido, enquanto que o molde *Pm* precisa ter espaço suficiente para contornar o molde *Pf*. Além desse espaço, é preciso também considerar as listras do tecido, principalmente a localização do módulo no tecido e em cada um dos moldes.

²³ Considera-se, para o exemplo, um molde de manga verticalmente simétrico.

Assim, pode-se dizer que o tamanho do tecido na etapa de pré-processamento é dinâmico e definido de acordo com os moldes que são encaixados e o tipo de listra (vertical ou horizontal). A Equação 12 apresenta como foi feito o cálculo para definir a largura do tecido (Lt) para listras verticais.

$$Lt = LPf + 2(LPm + Tl) \quad (12)$$

Onde:

Lt = Largura do tecido;

LPf = Largura da Peça fixa;

LPm = Largura da Peça móvel;

Tl = Tamanho do módulo da listra.

O cálculo do comprimento do tecido, para listras verticais, foi feito através da Equação 13.

$$Ct = CPf + 2(CPm) \quad (13)$$

Onde:

Ct = Comprimento do tecido;

CPf = Comprimento da Peça fixa;

CPm = Comprimento da Peça móvel.

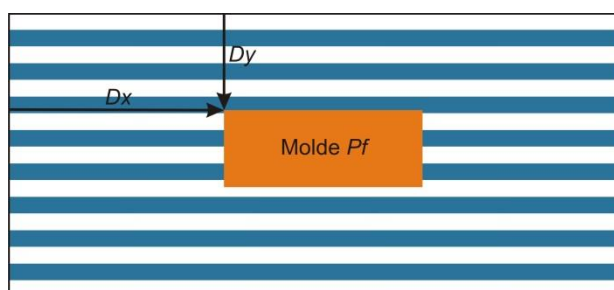
Para listras horizontais, o cálculo das dimensões do tecido deve considerar o Tamanho do módulo da listra (Tl) no cálculo do comprimento. As Equações 14 e 15 apresentam respectivamente o cálculo da largura e do comprimento do tecido para listras horizontais. As variáveis utilizadas são as mesmas das Equações 12 e 13.

$$Lt = LPf + 2(LPm) \quad (14)$$

$$Ct = CPf + 2(CPm + Tl) \quad (15)$$

Após definido o tamanho do tecido para a etapa de pré-processamento coloca-se primeiro o molde Pf , no centro do tecido. Entende-se o tecido e os moldes como tendo origem ($x = 0, y = 0$) no canto superior esquerdo. O molde Pf é inserido no tecido através do cálculo de dois valores. O primeiro indica o deslocamento do molde Pf da parte superior do tecido em direção ao centro, esse valor é denominado Dy . O segundo representa o deslocamento do molde Pf da lateral esquerda do tecido em direção ao centro, esse valor é denominado Dx . A Figura 84 mostra de modo esquemático essas dimensões.

Figura 84 – Representação esquemática da localização do Molde Pf



Fonte: a Autora

Para tecidos listrados verticais, a posição Dy do molde Pf é definida pela Equação 16 e a posição Dx pela Equação 17.

$$Dy_{Pf} = LPm + Tl \quad (16)$$

$$Dx_{Pf} = CPm - 1 \quad (17)$$

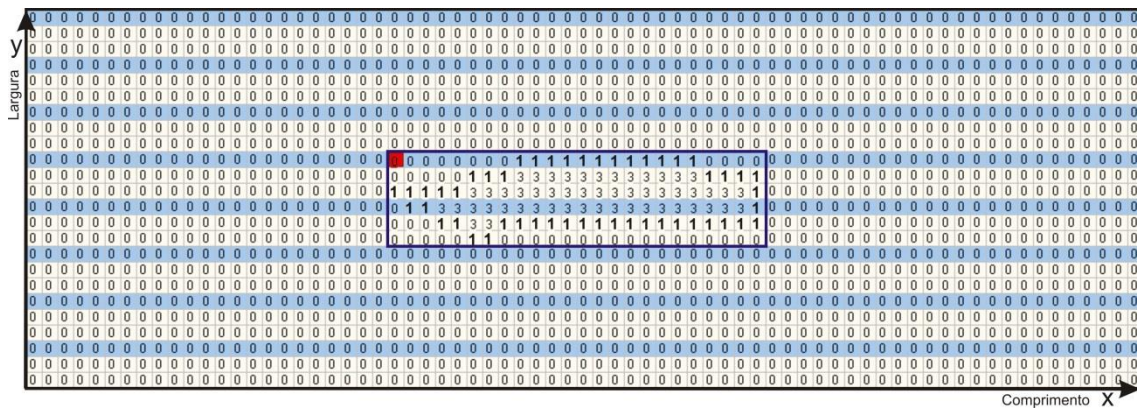
Para tecidos listrados horizontais, a Equação 18 é utilizada para o cálculo de Dy e a Equação 19 para Dx .

$$Dy_{Pf} = LPm - 1 \quad (18)$$

$$Dx_{Pf} = CPm + Tl \quad (19)$$

A Figura 85 mostra um exemplo, através da representação *raster*, do tecido dimensionado para a etapa de pré-processamento e o molde *Pf* inserido no centro do tecido após o cálculo de Dy e Dx pelas Equações 16 e 17.

Figura 85 – Encaixe do molde *Pf* na etapa de pré-processamento



Fonte: a Autora

Após a inserção do molde *Pf*, é colocado o molde *Pm* na lateral esquerda inferior do tecido. A posição inicial exata do molde *Pm* também é definida através de dois deslocamentos. O deslocamento do molde *Pm* da parte superior do tecido para baixo, assim como o deslocamento da lateral esquerda para a direita também são denominados de Dy e Dx . As Equações 20 e 21 mostram como foi feito o cálculo para listras verticais.

$$Dy_{Pm} = Dy_{Pf} + LPf + Tl \quad (20)$$

$$Dx_{Pm} = 0 \quad (21)$$

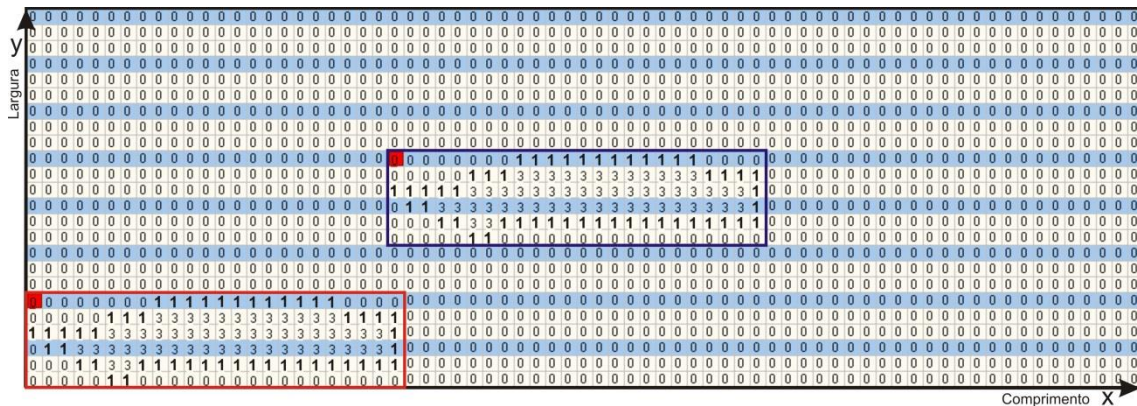
Para calcular Dy e Dx para o molde *Pm* em listras horizontais utilizaram-se as Equações 22 e 23.

$$Dy_{Pm} = Dy_{Pf} + LPf \quad (22)$$

$$Dx_{Pm} = Tl \quad (23)$$

A Equação 23 é igual ao valor do tamanho do módulo da listra (Tl), utilizado para garantir espaço para o emparelhamento de listras do molde Pm , caso seja necessário. A etapa de emparelhamento de listras é descrita na seção 7.1.1. A Figura 86 apresenta a primeira posição onde é inserido o molde Pm .

Figura 86 – Primeiro local de inserção do molde Pm na etapa de pré-processamento



Fonte: a Autora

Nesse exemplo, o molde Pm encontrou um local disponível, ou seja, sem sobreposição entre os moldes. Quando um local sem sobreposição é encontrado, diversas informações sobre o encaixe são guardadas, essa etapa será explicada na seção 7.1.2.

Para cada posição no eixo x do tecido é inserido o molde Pm no eixo y uma determinada quantidade de vezes. Essa quantidade de deslocamentos é denominada Qd . A Equação 24 descreve para listras verticais o cálculo realizado.

$$Qd = 2 + Trunc \left(\frac{LPf}{Tl} + \frac{LPm}{Tl} + 0,99 \right) \quad (24)$$

Onde:

Qd = Quantidade de deslocamentos para moldes com mesma largura;

$Trunc$ = A função $Trunc$ retorna a parte inteira de um número decimal. Como se deseja um arredondamento para cima do resultado da divisão foi somado 0,99 ao resultado;

LPf = Largura molde Pf ;

LPm = Largura molde Pm ;

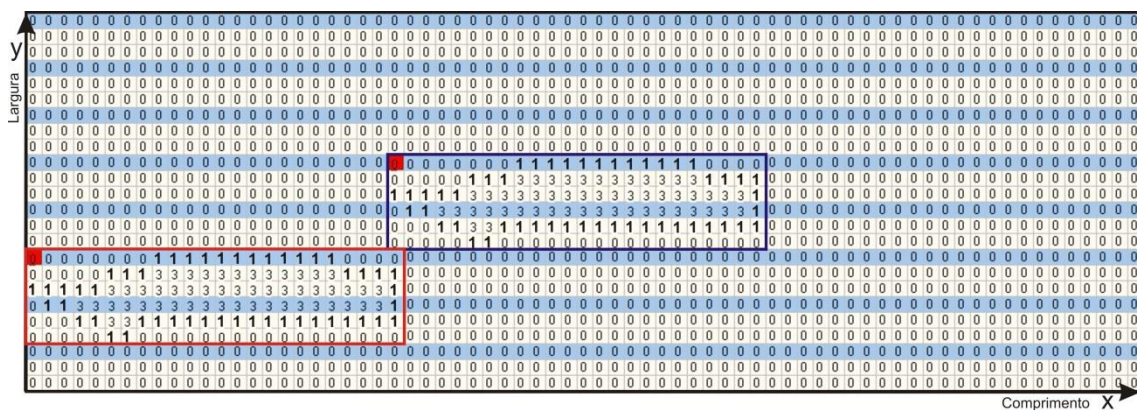
Tl = Tamanho do módulo da listra.

A Equação 25 mostra o cálculo da quantidade de deslocamentos para listras horizontais. A diferença está na variável CPf (comprimento do molde Pf) e CPm (comprimento do molde Pm) que é utilizada no lugar das variáveis LPf e LPm . Outra diferença é que a Equação 25 calcula a quantidade de deslocamentos do molde Pm no eixo x .

$$Qd = 2 + Trunc \left(\frac{CPf}{Tl} + \frac{CPm}{Tl} + 0,99 \right) \quad (25)$$

Para o exemplo mostrado na Figura 86 o resultado da Equação 24 é de 6 unidades. Assim, para cada posição no eixo x , o molde Pm será inserido em 6 locais diferentes no eixo y . Esse procedimento foi adotado para garantir que o molde Pm percorra toda a lateral do molde Pf . Como pode ser observado na Equação 24, a quantidade de locais de inserção do molde Pm no eixo y é dependente da largura dos moldes e do tamanho do módulo da listra (Tl). A Figura 87 mostra o primeiro deslocamento (segunda posição encontrada) no eixo y na posição 0 do eixo x .

Figura 87 – Segundo local de inserção do molde da Pm no eixo y na posição 0 do eixo x

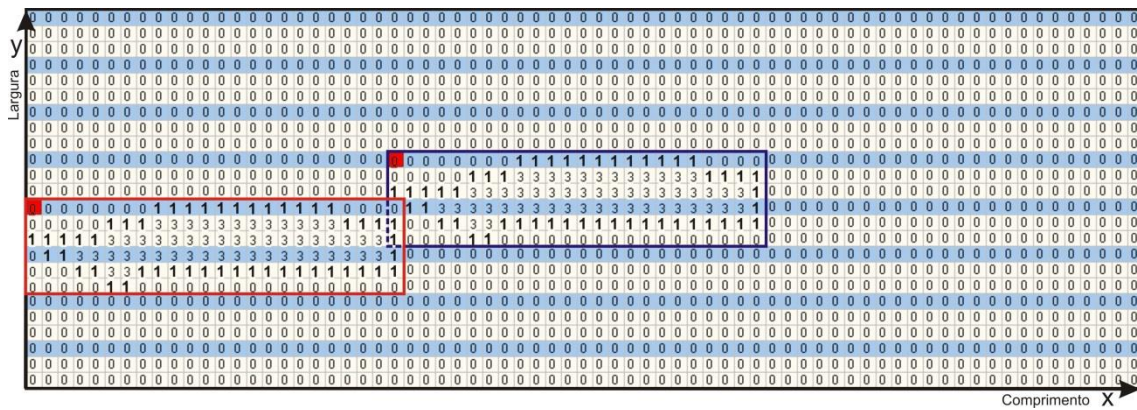


Fonte: a Autora

Como pode ser observado na Figura 87, o deslocamento no eixo y é feito em direção à parte superior do tecido. O valor do deslocamento é igual ao tamanho do módulo da listra (Tl). As próximas quatro imagens (figs. 88, 89, 90 e 91) apresentam o

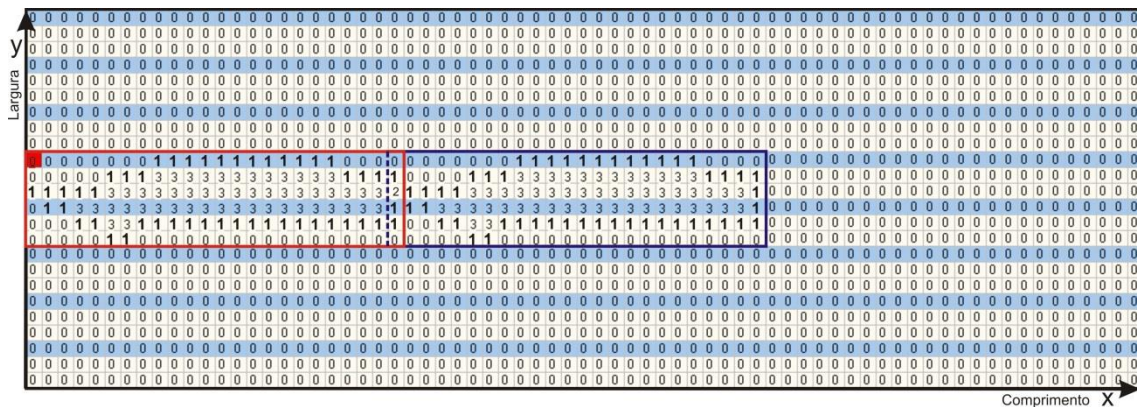
restante da sequência de deslocamentos do molde Pm no eixo y , para a posição 0 no eixo x .

Figura 88 – Terceiro local de inserção do molde Pm no eixo y na posição 0 do eixo x



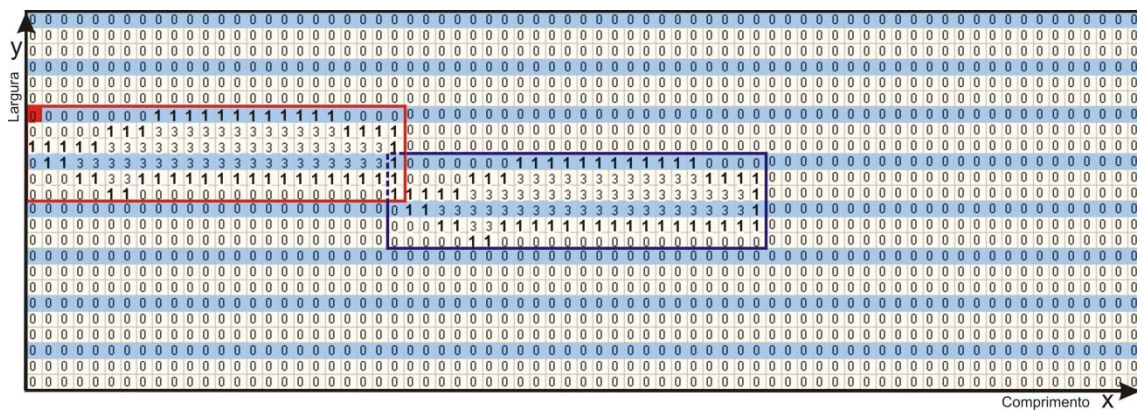
Fonte: a Autora

Figura 89 – Quarto local de inserção do molde da Pm no eixo y na posição 0 do eixo x



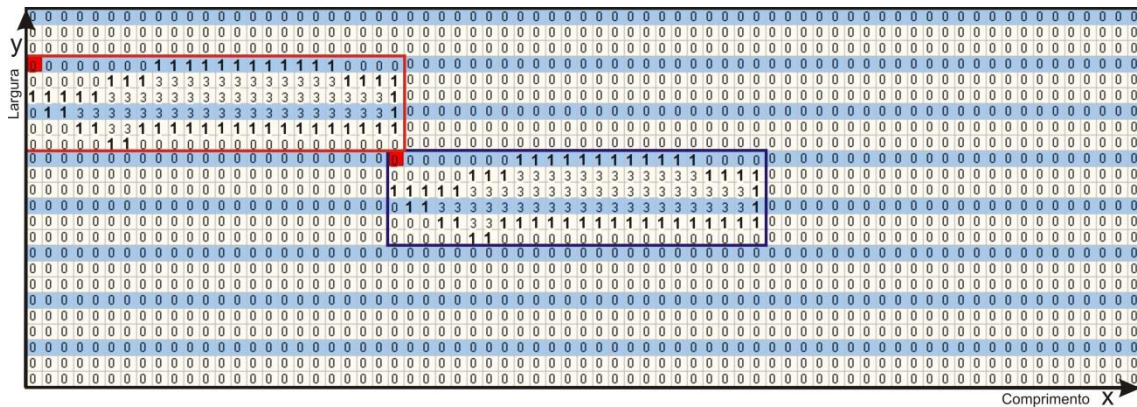
Fonte: a Autora

Figura 90 – Quinto local de inserção do molde da Pm no eixo y na posição 0 do eixo x



Fonte: a Autora

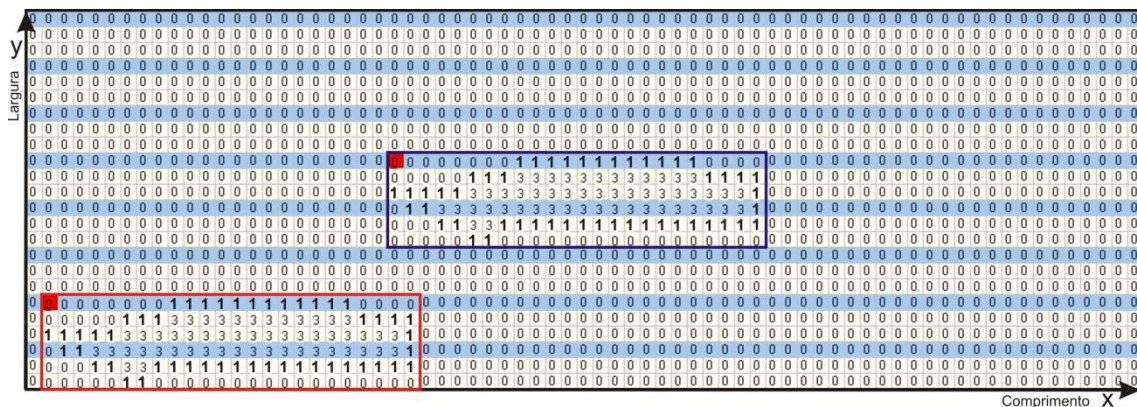
Figura 91 – Sexto local de inserção do molde da Pm no eixo y na posição 0 do eixo x



Fonte: a Autora

Após os deslocamentos no eixo y , desloca-se o molde Pm no eixo x , um *grid* para à direita. A Figura 92 apresenta esse deslocamento. O molde Pm ainda será inserido em mais cinco locais (Qd) no eixo y antes de deslocar-se novamente no eixo x . Caso ocorra sobreposição entre os moldes, o molde Pm é deslocado para cima no valor do tamanho do módulo da listra (Tl).

Figura 92 – Deslocamento do molde Pm no eixo x na etapa de pré-processamento



Fonte: a Autora

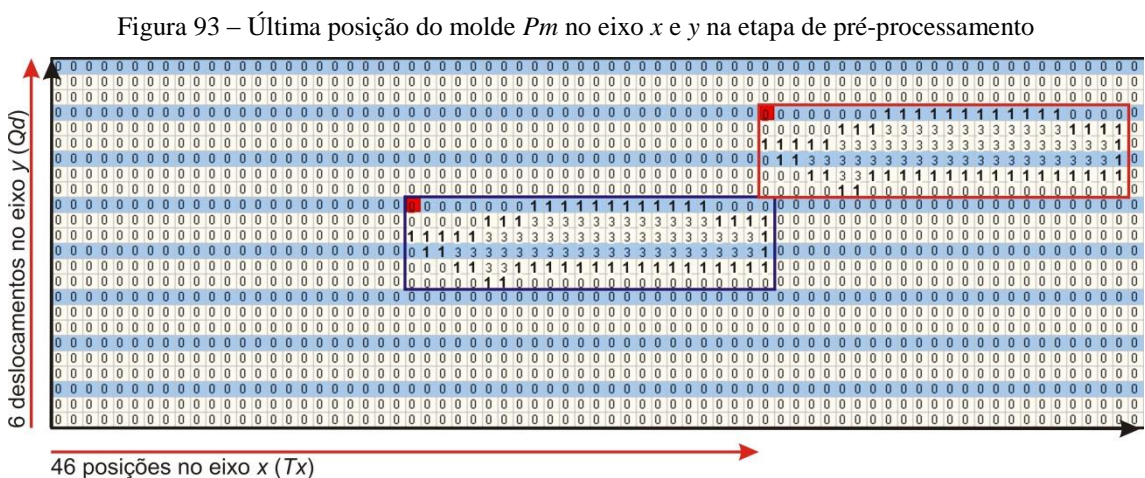
Para listras verticais a quantidade de deslocamentos no eixo y é calculada através da Equação 24. Para saber até qual ponto o molde Pm deve percorre o eixo x utiliza-se a Equação 26. A Equação 26 calcula o Tx , ou seja, o valor total que deve ser deslocado o molde Pm no eixo x . Quando o molde Pm alcança a posição calculada por Tx termina a etapa de pré-processamento. Esse valor de Tx deve ser igual à soma do comprimento do

molde Pm mais o comprimento do molde Pf menos dois *grids*, como mostrado na Equação 26.

$$Tx = CPm + CPf - 2 \quad (26)$$

Para o exemplo da Figura 92, o resultado da Equação 26 seria de 46 unidades.

A Figura 93 mostra a última posição do molde Pm após todos os deslocamentos nos eixos x e y .



Fonte: a Autora

Para listras horizontais não se utiliza a Equação 26. Considera-se que o valor de $Tx = Qd$ e a quantidade de posições no eixo y é determinada pelo início e fim do tamanho do tecido, calculado nas Equações 12 e 13. Assim, para listras horizontais o molde Pm desloca a cada etapa o valor de um *grid* no eixo y .

No exemplo da Figura 93 é possível perceber que os moldes possuem a mesma localização do início do módulo da listra. Quando os moldes têm localizações diferentes do início do módulo é preciso fazer um cálculo diferente para definir a posição inicial do molde Pm no encaixe. Essa etapa é descrita no próximo subcapítulo.

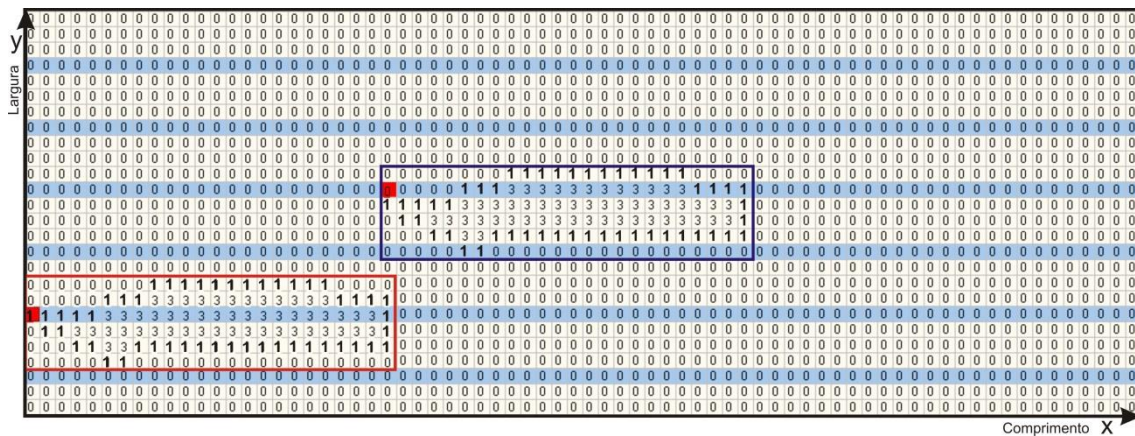
7.1.1 Emparelhamento das listras

A possibilidade dos moldes terem localizações do início do módulo e tamanhos diferentes (largura e comprimento) um do outro, implica que nem sempre eles devem começar a posição do encaixe no mesmo local. A esse procedimento de cálculo da nova posição inicial no encaixe do molde Pm denominou-se de emparelhamento das listras.

Para listras verticais, o início do posicionamento do molde P_m no eixo y é corrigido. Para listras horizontais, o início do posicionamento do molde P_m no eixo x é corrigido.

A Figura 94 apresenta um exemplo para listras verticais com tamanho do módulo igual a quatro unidades. O molde P_m tem o início do módulo a uma distância de dois *grids* da parte superior do molde, enquanto que o molde P_f tem o início do módulo a uma distância de um *grid* da parte superior do molde. O molde P_f mantém seu posicionamento inalterado, calculado pelas Equações 16 e 17, o que modifica é a localização do módulo no tecido, ou seja, adapta-se a localização do módulo no molde P_f .

Figura 94 – Emparelhamento das listras para tecido com listras paralelas ao comprimento



Fonte: a Autora

Os cálculos para o emparelhamento das listras utilizam a identificação da localização do módulo no molde, abordada neste trabalho no capítulo 6.3. No caso de listras verticais, utiliza-se a Equação 27 para o cálculo da nova posição inicial do molde P_m (NDy_{P_m}), ou seja, o deslocamento do molde da parte superior do tecido para baixo. O deslocamento do molde P_m no eixo x não sofre alteração.

$$NDy_{P_m} = Dy_{P_f} + L_{P_f} + L_{m_{P_m}} - L_{m_{P_f}} - \text{MOD} \left(\frac{L_{P_f}}{T_l} \right) + T_l \quad (27)$$

Onde:

NDy_{P_m} = Novo valor de deslocamento do molde P_m da parte superior do tecido para baixo;

Dy_{Pf} = Deslocamento no eixo y do molde Pf , calculado pela Equação 20;

LPf = Largura do molde Pf ;

Lm_{Pm} = Localização do módulo no molde Pm ;

Lm_{Pf} = Localização do módulo no molde Pf ;

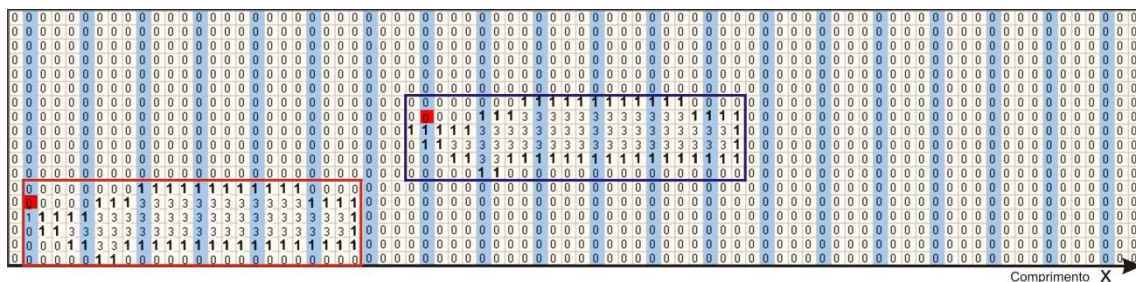
MOD = A função MOD retorna o resto da divisão do dividendo pelo divisor;

Tl = Tamanho do módulo da listra.

Para o exemplo da Figura 94 os valores das variáveis da Equação 27 são conhecidos ($Dy_{Pf} = 10$; $LPf = 6$; $Lm_{Pm} = 2$; $Lm_{Pf} = 3$; $Tl = 4$). Esses valores podem ser obtidos observando a própria Figura 94. Assim, o resultado da Equação 27 seria de 17 unidades, posição no eixo y em que se encontra o molde Pm .

A Figura 95 apresenta outro exemplo de emparelhamento de listras, para listras horizontais, com tamanho do módulo igual a quatro *grids*. O molde Pm tem a localização do módulo no primeiro *grid* do lado esquerdo do molde, enquanto que o molde Pf tem a localização do módulo a uma distância de um *grid* do lado esquerdo do molde. Como no exemplo anterior, o molde Pf mantém seu posicionamento inalterado, calculado pelas Equações 18 e 19, o que modifica é a localização do módulo no tecido, que se adapta ao molde Pf .

Figura 95 – Emparelhamento das listras para tecido com listras paralelas à largura



Fonte: a Autora

Para listras horizontais, usa-se a Equação 28 para o cálculo da nova posição inicial do molde Pm (NDx_{Pm}), ou seja, o deslocamento da lateral esquerda do tecido em direção ao centro. O deslocamento do molde Pm no eixo y não sofre alteração.

$$NDx_{Pm} = Lm_{Pm} - Lm_{Pf} + MOD\left(\frac{Cpf}{Tl}\right) + (2 \times Tl) \quad (28)$$

Onde:

NDx_{Pm} = Novo deslocamento do molde Pm da lateral esquerda do tecido em direção ao centro;

Lm_{Pm} = Localização do módulo no molde Pm ;

Lm_{Pf} = Localização do módulo no molde Pf ;

CPf = Comprimento do molde Pf ;

MOD = A função MOD retorna o resto da divisão do dividendo pelo divisor;

Tl = Tamanho do módulo da listra.

Para o exemplo da Figura 95 os valores das variáveis da Equação 28 podem ser obtidos observando a própria imagem ($Lm_{Pm} = 4$; $Lm_{Pf} = 3$; $CPf = 24$; $Tl = 4$). Assim, o resultado da Equação 28 seria de 9 unidades. Enquanto o resultado da Equação 28 for maior do que o tamanho do módulo da listra (Tl) é feita uma subtração consecutiva do resultado pelo valor de Tl . Assim, o resultado final seria de 1 unidade, posição em que encontra-se o molde Pm . O acréscimo do valor de Tl na Equação 28 é para garantir que não haverá resultados negativos. E a subtração do valor de Tl para resultados maiores do que esse valor é para o molde iniciar o mais próximo da lateral esquerda do tecido.

Assim, o emparelhamento das listras é fundamental para o posicionamento correto dos moldes Pf e Pm na etapa de pré-processamento. Ao final da etapa de pré-processamento obtém-se um conjunto das posições possíveis, em que não há sobreposição, entre dois moldes. Todo esse conjunto de informações será utilizado para o encaixe dos moldes dentro do tecido. No próximo subcapítulo é explicado como é feito o registro das informações da etapa de pré-processamento.

7.1.2 Registro das informações do pré-processamento

As informações obtidas na etapa de pré-processamento somam um volume elevado. Por esse motivo, optou-se por guardá-las em um arquivo do software Excel. Nesse arquivo, ficam registrados: o número da combinação dos moldes, a identificação do molde Pf , a identificação do molde Pm , o comprimento, a largura, eficiência do retângulo envolvente, eficiência do polígono envolvente, relação entre eficiência do retângulo envolvente e do polígono envolvente, posição no eixo x do molde Pf , posição no eixo y do molde Pf , posição no eixo x do molde Pm , posição no eixo y do molde Pm

e ângulo de rotação do molde Pf e do molde Pm . A Figura 96 mostra a interface do software Excel com as informações que são guardadas.

Figura 96 – Registro de informações em arquivo no software Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	Peça Fixa:	Peça Móvel:	Comprimento:	Largura:	Eficiência Retângulo:	Eficiência Polígono:	Relação eficiência:	Posição X Peça Fixa:	Posição Y Peça Fixa:	Posição X Peça Móvel:	Posição Y Peça Móvel:	Rotação Ff:	Rotação MO:	
1	0	0	29	40	0,362068965517241	0,972222222222222	0,610153256704981	14	27	0	53	0	0	
2	0	0	29	27	0,535121328224777	1	0,464878671775223	14	27	0	40	0	0	
3	0	0	29	14	1	0	0,464878671775223	14	27	0	27	0	0	
4	0	0	29	27	0,535121328224777	1	0,464878671775223	14	27	0	14	0	0	
5	0	0	29	40	0,362068965517241	0,972222222222222	0,610153256704981	14	27	0	1	0	0	
6	0	0	28	40	0,375	0,945945945945946	0,570945945945946	14	27	1	53	0	0	
7	0	0	28	27	0,552910052910053	1	0,447089947089947	14	27	1	40	0	0	
8	0	0	28	27	0,552910052910053	1	0,447089947089947	14	27	1	14	0	0	
9	0	0	28	40	0,375	0,945945945945946	0,570945945945946	14	27	1	1	0	0	
10	0	0	27	40	0,388888888888889	0,921052631578947	0,532163742690059	14	27	2	53	0	0	
11	0	0	27	27	0,57201646090535	1	0,42798353909465	14	27	2	14	0	0	
12	0	0	27	27	0,57201646090535	1	0,42798353909465	14	27	2	40	0	0	
13	0	0	27	40	0,388888888888889	0,921052631578947	0,532163742690059	14	27	2	1	0	0	
14	0	0	26	40	0,403846153846154	0,897435897435897	0,493589743589744	14	27	3	53	0	0	
15	0	0	26	27	0,592592592592593	1	0,407407407407407	14	27	3	40	0	0	
16	0	0	26	27	0,592592592592593	1	0,407407407407407	14	27	3	14	0	0	
17	0	0	26	40	0,403846153846154	0,897435897435897	0,493589743589744	14	27	3	1	0	0	
18	0	0	25	40	0,42	0,875	0,455	14	27	4	53	0	0	
19	0	0	25	27	0,614814814814815	1	0,385185185185185	14	27	4	40	0	0	
20	0	0	25	27	0,614814814814815	1	0,385185185185185	14	27	4	14	0	0	
21	0	0	25	40	0,42	0,875	0,455	14	27	4	1	0	0	
22	0	0	24	40	0,4375	0,853658536585366	0,416158536585366	14	27	5	53	0	0	
23	0	0	24	27	0,838888888888889	1	0,361111111111111	14	27	5	40	0	0	
24	0	0	24	27	0,838888888888889	1	0,361111111111111	14	27	5	14	0	0	
25	0	0	24	40	0,4375	0,853658536585366	0,416158536585366	14	27	5	1	0	0	
26	0	0	23	40	0,4565211739130435	0,833333333333333	0,376811594020899	14	27	6	53	0	0	
27	0	0	23	27	0,665056360708535	1	0,334943639291465	14	27	6	40	0	0	

Fonte: a Autora

Uma das vantagens da etapa de pré-processamento e do registro de informações é o cálculo dessa etapa uma única vez para cada modelo de roupa. Por exemplo, os moldes de uma camisa ou de dez camisas são os mesmos, a única diferença é a quantidade de cada um dos moldes. Assim, é preciso executar a etapa de pré-processamento uma única vez e na etapa de encaixe informar quantos modelos de uma determinada roupa devem ser encaixados.

7.1.3 Cálculo da eficiência

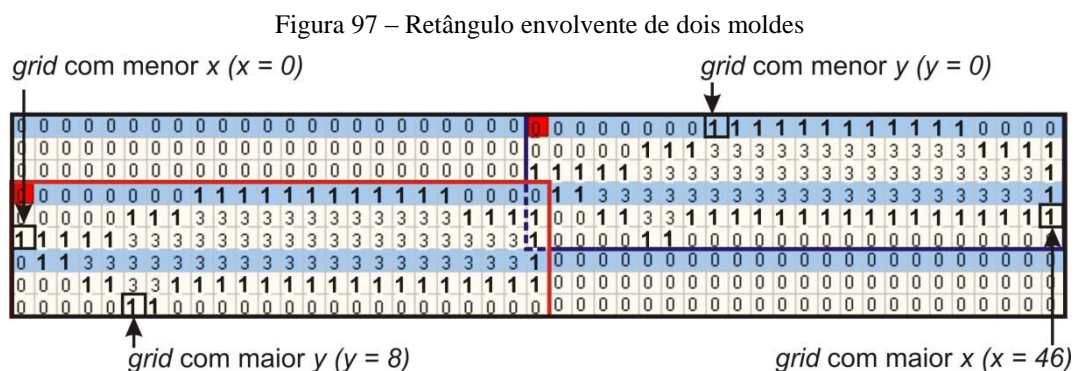
Duas informações contidas no arquivo do Excel e que são fundamentais para a etapa de encaixe dos moldes são a eficiência do retângulo envolvente e a eficiência do polígono envolvente. As duas eficiências são calculadas para cada combinação de dois moldes em uma posição específica. Assim, pode-se avaliar, segundo as eficiências, qual combinação é melhor.

Para calcular a eficiência do retângulo envolvente, obtêm-se os pontos extremos do encaixe de dois moldes: $grid$ ocupado com menor valor no eixo x , $grid$ ocupado com maior valor no eixo x , $grid$ ocupado com menor valor no eixo y e $grid$ ocupado com

maior valor no eixo y . Esses pontos representam os cantos do retângulo envolvente. Dentro do retângulo envolvente são contados os *grids* preenchidos (com os números 1, 2, 3) e os *grids* vazios (com o número 0) dos dois moldes. Para saber a eficiência do retângulo envolvente (Er) utiliza-se a Equação 29.

$$Er = \frac{\text{grids cheios}}{\text{grids cheios} + \text{grids vazios}} \quad (29)$$

A Figura 97 mostra um exemplo de encaixe e da área do retângulo envolvente, destacada pelo retângulo com contorno na cor preta. Também estão indicados: o *grid* ocupado com menor x , *grid* ocupado com maior x , *grid* ocupado com menor y e *grid* ocupado com maior y .

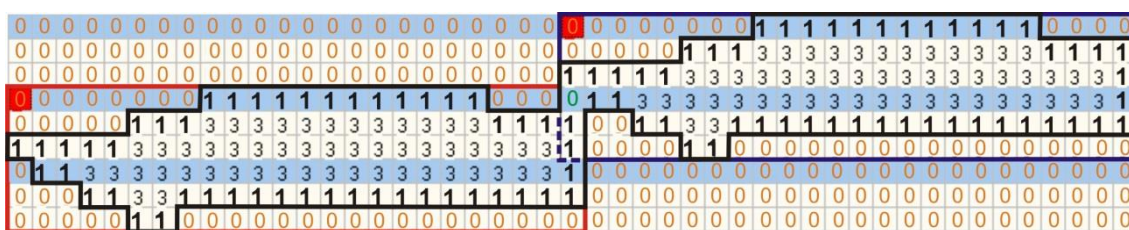


Nesse exemplo, o número de espaços vazios é de 221 *grids*, os espaços cheios são 202. Sendo assim, a eficiência do retângulo envolvente é de 47,75%. Considerou-se que para o encaixe final apenas o cálculo da eficiência do retângulo envolvente não era suficiente para decidir qual combinação entre dois moldes em uma determinada posição era a melhor. Assim, optou-se por calcular outra eficiência, a do polígono envolvente, que não considerasse o espaço vazio ao redor dos moldes, já que esse espaço pode ser ocupado por outros moldes na etapa de encaixe.

Para calcular a eficiência do polígono envolvente utilizaram-se os pontos extremos do retângulo envolvente. O polígono envolvente não considera os *grids* vazios que são externos ao polígono, somente os *grids* vazios que estão localizados entre os dois moldes.

Assim, para construir o polígono envolvente foram contados os *grids* exteriores com zeros. Iniciou-se a contagem na parte inferior esquerda do retângulo envolvente. Para cada posição no eixo x foram somados os *grids* com zeros no eixo y . A contagem foi feita de baixo para cima até encontrar um *grid* ocupado. O mesmo procedimento foi realizado a partir do canto superior esquerdo, porém de cima para baixo. Dessa forma, no final da contagem obteve-se o total de *grids* vazios exteriores aos moldes. A Figura 98 mostra o polígono envolvente (contorno na cor preta) do encaixe dos dois moldes apresentados anteriormente. Na cor laranja estão os números dos *grids* que representam espaços vazios exteriores ao polígono envolvente e na cor verde um único *grid* que está no interior do retângulo envolvente, entre os dois polígonos.

Figura 98 – Polígono envolvente de dois moldes



Fonte: a Autora

Para saber a eficiência do polígono envolvente (E_p) emprega-se a Equação 30:

$$E_p = \frac{\text{grids cheios}}{\text{grids cheios} + \text{grids vazios} - \text{grids vazios exteriores}} \quad (30)$$

No exemplo da Figura 98, há 202 *grids* cheios, 221 *grids* vazios, sendo que desses 220 são vazios exteriores ao polígono envolvente (cor laranja). Através da Equação 30 sabe-se que a eficiência do polígono envolvente é de 99,50%.

O cálculo da eficiência do polígono envolvente é utilizado na etapa de construção do encaixe, como será apresentado no próximo subcapítulo.

7.2 ETAPA DE CONSTRUÇÃO DO ENCAIXE

Com a fase de pré-processamento concluída é possível iniciar o encaixe dos moldes. Após vários testes na fase de encaixe percebeu-se o que os autores Gomes e Oliveira (2006) já haviam descrito, que os maiores moldes possuem maior influência na

eficiência do encaixe. Assim, optou-se por dividir os moldes em dois grupos: maiores e menores. No grupo dos maiores moldes, está o molde com maior área e todos os moldes que tenham mais de 20% da área do maior molde. Os moldes que possuem área menor ou igual a 20% do maior molde, são classificados no grupo dos menores moldes. Para cada um dos grupos de moldes é realizada uma forma de encaixe diferente. Todos os moldes maiores são colocados no tecido antes dos moldes menores. Tenta-se inserir os moldes menores nos espaços deixados entre os moldes maiores.

Para o grupo dos maiores moldes executa-se a etapa de pré-processamento. Inicia-se o encaixe com a escolha aleatória de um molde do grupo dos maiores. Esse primeiro molde é inserido no canto superior esquerdo do tecido, técnica conhecida como *bottom-left*.

Após definido o primeiro molde precisa-se descobrir qual é o próximo molde que será colocado no tecido. Para escolher esse molde é feita uma varredura no arquivo da etapa de pré-processamento e são guardadas todas as combinações do primeiro molde inserido no tecido com os outros moldes. Essas combinações são ordenadas. Ao longo de todo o processo de encaixe são feitos três ordenamentos diferentes, que dependem da posição do último molde inserido no tecido. Após a inserção do primeiro molde no canto superior esquerdo emprega-se o ordenamento 1 para decidir o próximo molde que será colocado no tecido.

No ordenamento 1 a prioridade é colocar em primeiro, na classificação das combinações entre dois moldes (Pf e Pm), o molde Pm que possui a menor distância da lateral do tecido no eixo x . As combinações entre dois moldes terão distâncias diferentes da lateral do tecido no eixo x . Isso ocorre porque aqui está se analisando a distância do molde Pm até a lateral do tecido quando ele está encaixado com molde Pf em uma determinada posição (etapa de pré-processamento). Para os moldes Pm que possuem a mesma distância da lateral do tecido, é feita uma nova classificação. Esse ordenamento classifica os moldes Pm segundo a melhor eficiência do polígono envolvente.

A Figura 99 faz uma simulação do ordenamento 1 que ocorre dentro do software Riscare. Na Figura 99 estão destacadas as colunas que participam do ordenamento. A primeira coluna marcada com contorno preto é denominada de *Peça Fixa* (coluna B) e indica o número que representa um determinado molde Pf . O molde Pf é aquele que já foi colocado no tecido, no exemplo, é o molde representado pelo número 0. A próxima coluna, chamada *Peça Móvel* (coluna C) mostra os números de diferentes moldes Pm .

Esses moldes foram ordenados primeiro pela menor distância da largura do tecido no eixo x , indicado na coluna *Posição x Peça Móvel* (coluna K). E depois, para as situações em que o valor era igual para a distância da largura do tecido, foram classificados pela maior eficiência, coluna *Eficiência Polígono* (coluna G). A coluna K possui os números ordenados do menor para o maior, enquanto que a coluna G têm os números do maior para o menor.

Figura 99 – Simulação do ordenamento 1

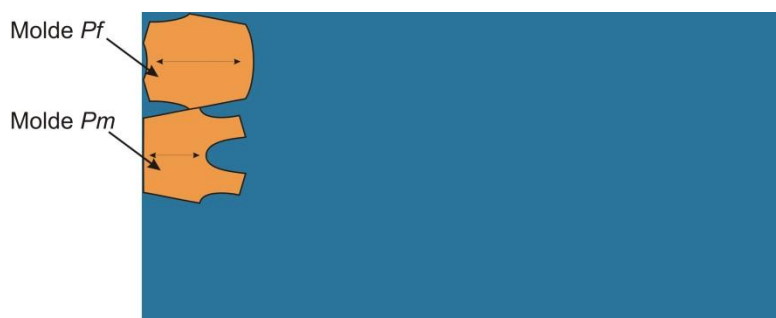
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Peça Fixa	Peça Móvel	Comprimento	Largura	Eficiência Retângulo	Eficiência Polígono	Relação eficiência	Posição X Peça Fixa	Posição Y Peça Fixa	Posição X Peça Móvel	Posição Y Peça Móvel	Rotação FI	Rotação MO	
2	0	29	14	0,535121328224777	1	0,464878671775223	14	27	0	40	0	0	
3	0	29	14	1	1	0	14	27	0	27	0	0	
4	0	29	14	0,535121328224777	1	0,464878671775223	14	27	0	14	0	0	
5	120	31	21	0,485407066052227	1	0,51459293947773	16	20	0	34	0	0	
6	121	31	14	0,711981566820276	1	0,288018433179724	16	20	0	21	0	0	
7	215	31	14	0,711981566820276	1	0,288018433179724	16	20	0	27	0	0	
8	216	31	20	0,508064516129032	1	0,491935483870968	16	20	0	14	0	0	
9	310	35	14	0,460048426150121	1	0,539951573849879	44	18	0	25	0	0	
10	430	44	32	0,758614014711576	1	0,241385985288424	67	72	0	76	0	0	
11	431	44	32	0,807771806531625	1	0,192228193468375	67	72	0	63	0	0	
12	432	44	32	0,807771806531625	1	0,192228193468375	67	72	0	50	0	0	
13	433	44	32	0,807771806531625	1	0,192228193468375	67	72	0	57	0	0	
14	434	44	32	0,770653029110936	1	0,229346970889064	67	72	0	24	0	0	
15	604	5	50	0,613103448275862	1	0,386896551724138	72	51	0	63	0	0	
16	605	5	38	0,803085299455535	1	0,196914700544465	72	51	0	50	0	0	
17	606	5	38	0,803085299455535	1	0,196914700544465	72	51	0	37	0	0	
18	607	5	37	0,747406784412672	1	0,252593215587328	72	51	0	24	0	0	
19	798	6	42	0,732621784345922	1	0,267378215654078	72	51	0	55	0	0	
20	799	6	37	0,805807622504537	1	0,194192377495463	72	51	0	42	0	0	
21	800	6	37	0,805807622504537	1	0,194192377495463	72	51	0	29	0	0	
22	801	6	37	0,827492376260849	1	0,372507623739351	72	51	0	16	0	0	
23	990	7	57	0,555137844611529	1	0,444862155388471	42	20	0	21	0	0	
24	1163	8	47	0,669667212220404	1	0,33032787779596	63	60	0	54	0	0	
25	1164	8	47	0,66884881614839	1	0,331151118385161	63	60	0	41	0	0	
26	1165	8	47	0,671031096563011	1	0,338968903469889	63	60	0	28	0	0	
27	1422	9	47	0,67753523072672	1	0,3246476927328	62	60	0	47	0	0	
28	1423	9	47	0,67504835589942	1	0,32495164410058	62	60	0	60	0	0	

Fonte: a Autora

Para colocar o molde P_m no tecido são utilizadas as informações gravadas na etapa de pré-processamento. Dessa forma, sabe-se a posição exata que o molde P_m deve ficar em relação ao molde P_f no tecido. Tenta-se inserir o molde com a posição e informações descritas na primeira linha da Figura 99. Caso haja sobreposição²⁴ tenta-se colocar o molde com as informações descritas na próxima linha da Figura 99. O processo só termina quando se encontra um molde que não sobreponha nenhum outro. A Figura 100 faz uma simulação do encaixe do molde P_f , primeiro que foi inserido, e do molde P_m , o que foi colocado depois com as informações da etapa de pré-processamento e ordenamento 1.

²⁴ A sobreposição nunca ocorrerá com o segundo molde que será inserido no tecido, mas é comum acontecer quando outros moldes já foram inseridos no tecido.

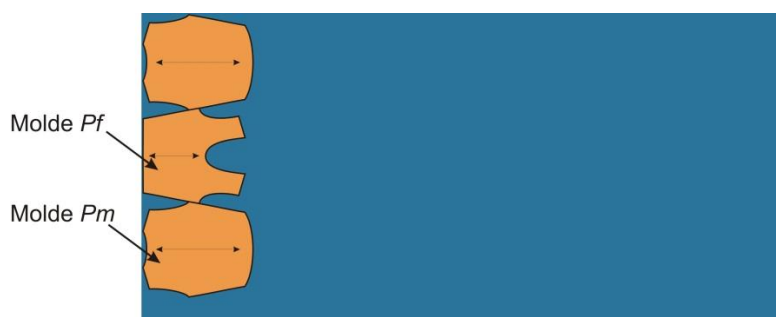
Figura 100 – Simulação da inserção do primeiro e do segundo molde no tecido



Fonte: a Autora

Quando o molde Pm é inserido no tecido ele se torna o novo molde Pf . A busca pela próxima peça é igual a descrita anteriormente e utiliza o ordenamento 1. A Figura 101 faz uma simulação do encaixe de um novo molde Pm .

Figura 101 – Simulação da inserção do terceiro molde no tecido

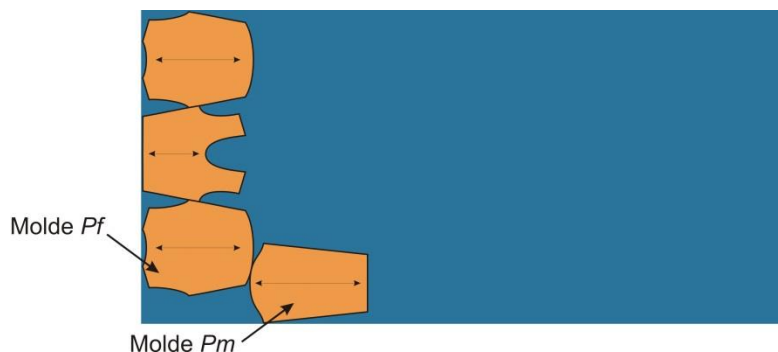


Fonte: a Autora

Quando mais nenhum molde pode ser inserido no limite da largura inferior do tecido, como ocorre na Figura 101, utiliza-se o ordenamento 2 para decidir qual será o próximo molde colocado no encaixe.

O ordenamento 2 também classifica os moldes Pm de acordo com a menor distância da lateral do tecido no eixo x . Porém, quando esses valores são iguais, são ordenados para desempate, do maior para o menor, os valores da posição no eixo y do molde Pm . Essa coluna é denominada de *Posição y Peça Móvel* (coluna L). O objetivo do ordenamento 2 é inserir o molde Pm o mais próximo da lateral esquerda e inferior do tecido. A Figura 102 mostra uma simulação da inserção do molde Pm através do ordenamento 2.

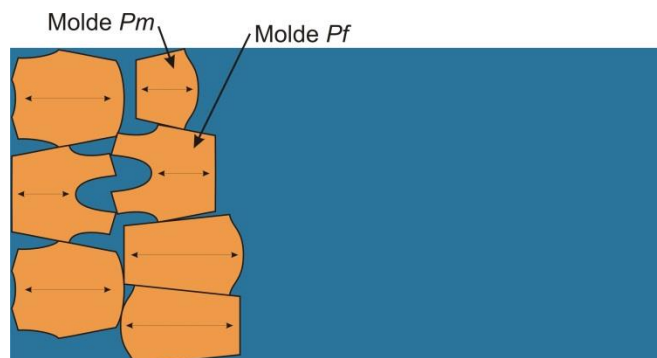
Figura 102 – Simulação da inserção do quarto molde no tecido pelo ordenamento 2



Fonte: a Autora

Os próximos moldes são escolhidos através do ordenamento 1 até não haver mais espaço suficiente na parte superior do tecido. A Figura 103 faz uma simulação de quando o encaixe dos moldes alcança essa situação.

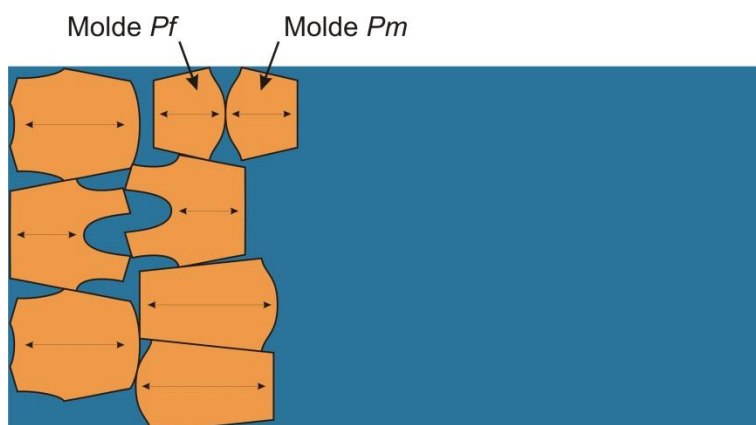
Figura 103 – Simulação da inserção do molde que atinge a parte superior do tecido



Fonte: a Autora

Quando não há mais espaço disponível para inserção de moldes na parte superior do tecido, o próximo molde é escolhido através do ordenamento 3. O ordenamento 3 também classifica os moldes *Pm* de acordo com a menor distância da lateral do tecido no eixo *x*. Porém, quando esses valores são iguais, são ordenados para desempate, do menor para o maior, os valores da posição no eixo *y* do molde *Pm*. Essa coluna é denominada de *Posição y Peça Móvel* (coluna *L*). A diferença entre o ordenamento 2 e o 3 é que o ordenamento 2 busca o maior valor no eixo *y* do molde *Pm*, enquanto que o ordenamento 3 procura o menor valor. O objetivo do ordenamento 3 é inserir o molde *Pm* o mais próximo da lateral esquerda e superior do tecido. A Figura 104 mostra uma simulação da inserção do molde *Pm* através do ordenamento 3.

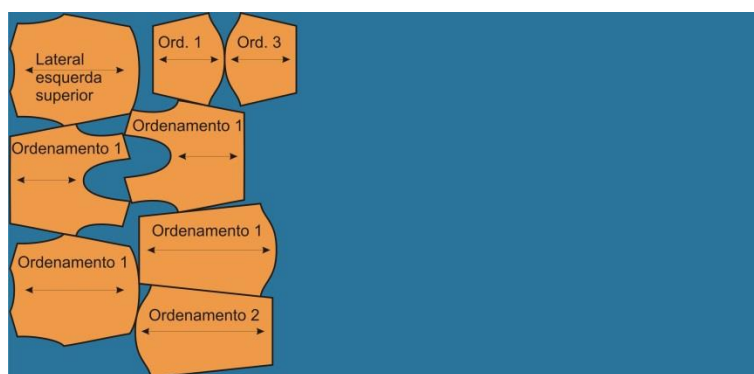
Figura 104 – Simulação da inserção do molde pelo ordenamento 3



Fonte: a Autora

O processo de inserção dos moldes é igual para o restante do tecido. Usa-se o ordenamento 1 para colocação de todos os moldes. Porém, há três exceções: primeiro molde, que é inserido no canto superior esquerdo do tecido; quando não há mais local disponível na extremidade inferior, emprega-se o ordenamento 2 e quando não há mais local disponível na extremidade superior, utiliza-se o ordenamento 3. A Figura 105 descreve dentro de cada molde qual foi o critério ou ordenamento utilizado para sua escolha.

Figura 105 – Moldes com indicação do ordenamento utilizado para sua colocação

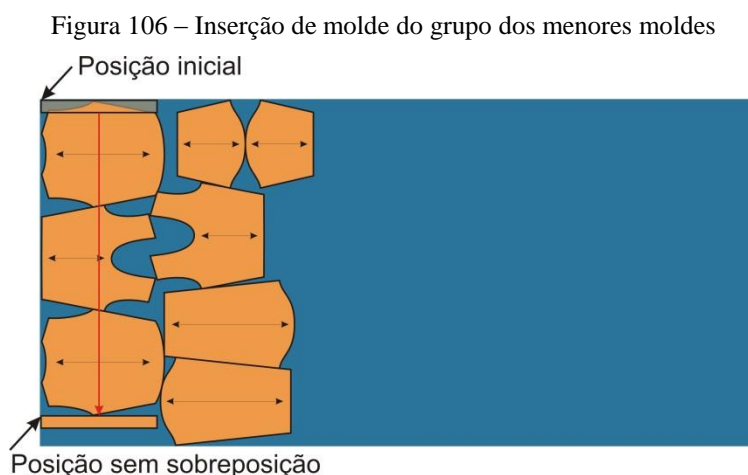


Fonte: a Autora

Após a inserção dos maiores moldes, inicia-se a colocação do grupo dos moldes menores. Os moldes menores são ordenados em uma sequência de acordo com o seu tamanho (área) e colocados do maior para o menor. Assim, inicia-se com o maior molde e termina-se com o menor. O processo de encaixe do grupo dos moldes menores é

semelhante ao realizado pelo software Riscare para o encaixe de moldes em tecidos lisos descrito no subcapítulo 3.4.9. O molde que será inserido no tecido começa na posição superior esquerda do tecido. Enquanto houver sobreposição entre os moldes ele é deslocado no valor de um *grid* para baixo no eixo *y*. Se o molde não encontrar um local disponível e atingir a largura inferior do tecido, é incrementado um *grid* no eixo *x* e o molde retorna para a posição inicial no eixo *y*. O processo só termina quando o molde encontra um local sem sobreposição.

A Figura 106 mostra uma simulação do encaixe de um molde do grupo dos menores moldes. É possível perceber na imagem a posição inicial do molde, no canto superior esquerdo. Porém, nesta posição há sobreposição e o molde precisa encontrar um novo local. Assim, há deslocamentos no eixo *y* até o molde encontrar um local disponível, como apresentado na imagem.



Fonte: a Autora

Como os moldes que participam dessa etapa são moldes pequenos, aumenta as chances de conseguirem um espaço disponível entre os moldes maiores, já colocados no tecido.

No Quadro 4 é descrito o algoritmo do encaixe dos moldes em tecidos listrados com as informações descritas neste capítulo. O algoritmo utiliza a divisão dos moldes em maiores e menores, a etapa de pré-processamento e os ordenamentos das sequências de combinações entre dois moldes.

Quadro 4 – Algoritmo de encaixe com pré-processamento

1. Dividir todos os moldes em dois grupos: maiores e menores
2. *//Para os moldes maiores*
3. Executar a etapa de pré-processamento
4. Escolher um molde P_f aleatoriamente
5. Inserir o molde P_f no canto superior esquerdo do tecido
6. Repetir {
 7. Se alcançou a largura inferior do tecido:
 8. Executar ordenamento 2
 9. Caso contrário:
 10. Executar ordenamento 1
 11. Se alcançou a largura superior do tecido:
 12. Executar ordenamento 3
 13. Caso contrário:
 14. Executar ordenamento 1
 15. Inserir o molde P_m no tecido
 16. $P_f := P_m$
 17. Parar quando terminar os moldes
 18. }
19. *//Para os moldes menores*
20. Ordenar sequência dos moldes do maior para o menor
21. Repetir {
 22. Inserir molde no canto superior esquerdo do tecido
 23. Se há sobreposição com outros moldes:
 24. Desloca um *grid* no eixo y para baixo
 25. Se alcançou a largura inferior do tecido:
 26. Incrementa um *grid* no eixo x e retorna para a posição inicial no eixo y
 27. Caso contrário:
 28. Inserir molde no tecido
 29. Encaixar próximo molde da sequência
 30. Parar quando terminar os moldes
 31. }
32. *//Quando não houver mais moldes*
33. Calcular eficiência e comprimento do encaixe

Fonte: a Autora

Assim, o algoritmo proposto neste capítulo utiliza das informações obtidas no encaixe entre dois moldes na etapa de pré-processamento para a construção do encaixe final entre os maiores moldes. Os moldes menores são inseridos, sempre que possível, nos espaços deixados pelos moldes maiores. No próximo capítulo é apresentado outro algoritmo proposto para o encaixe de moldes em tecidos listrados. Diferente deste, o

algoritmo descrito a seguir não utiliza pré-processamento nem divisão dos moldes em grupos maiores e menores.

8. ALGORITMO DE BUSCA DO MELHOR ENCAIXE UTILIZANDO O MÉTODO CADEIAS DE MARKOV MONTE CARLO E O ALGORITMO DE METROPOLIS-HASTINGS

Este capítulo apresenta a utilização do método Cadeias de Markov Monte Carlo (CMMC) e o algoritmo de Metropolis-Hastings para o problema do encaixe de moldes em tecidos listrados. O algoritmo de busca do melhor encaixe baseou-se na pesquisa de Costa (2013) citado no subcapítulo 3.5 deste trabalho. Os encaixes são realizados através do método busca em uma sequência (descrito no subcapítulo 3.3.2 da presente pesquisa). O algoritmo Metropolis-Hastings é utilizado para gerar diferentes sequências de moldes. Para cada uma das sequências, os moldes são colocados no tecido e avaliados de acordo com a eficiência do encaixe. Para explicar a implementação do algoritmo, este capítulo está dividido em cinco subcapítulos que descrevem os procedimentos e o algoritmo de encaixe.

8.1 ESTADO INICIAL DA CADEIA

O algoritmo Metropolis-Hastings parte de um estado inicial da cadeia de Markov. Para criar esse estado, primeiro colocaram-se todos os moldes em uma sequência ordenada, pelo número que representa o molde, do menor para o maior. Depois de definida essa sequência é construída uma nova sequência que escolhe aleatoriamente as posições dos moldes com base na sequência anterior. Essa sequência estabelecida aleatoriamente é denominada de estado inicial da cadeia. Para cada um dos moldes da sequência é escolhido, também de modo aleatório, o número 0 ou 1. O número 0 indica que o molde tem orientação de 0° , enquanto que o número 1 representa uma orientação de 180° .

8.2 GERAÇÃO DE AMOSTRA

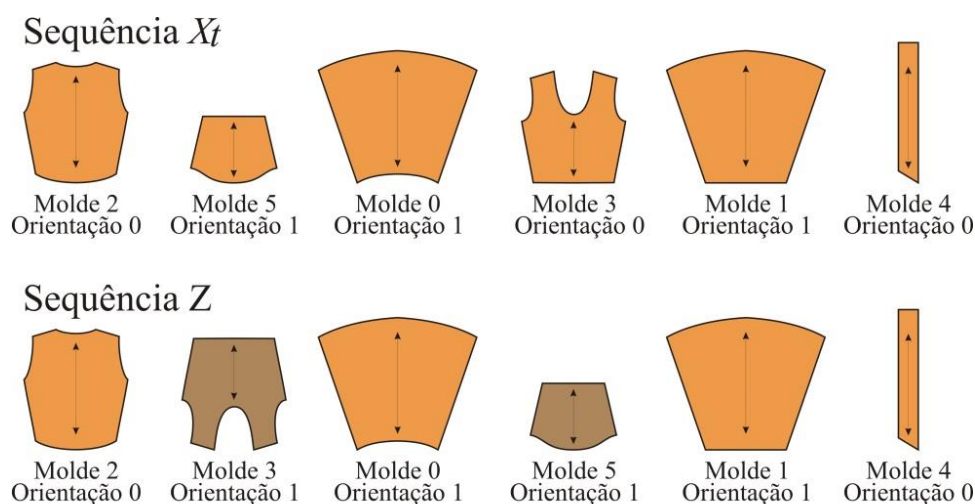
Após definido o estado inicial da cadeia através de uma sequência de moldes e suas respectivas orientações, inicia-se a geração de amostra. A geração de amostra faz modificações na amostra que foi aceita anteriormente. Cada amostra, no problema do encaixe, é uma sequência de moldes (com orientação de rotação).

A primeira amostra utiliza o estado inicial da cadeia. A partir da sequência de moldes do estado inicial da cadeia cria-se uma nova amostra pela troca de posição de dois moldes. Por exemplo, dada uma sequência de moldes $X_t (2,5,0,3,1,4)$ com

orientação de rotação $(0,1,1,0,1,0)$, seleciona-se randomicamente quais serão as duas posições que terão os moldes trocados. Suponha-se que para o exemplo foram escolhidas a 2ª e a 4ª posição da sequência X_t ($2, \underline{5}, 0, \underline{3}, 1, 4$), a nova amostra será Z ($2, 3, 0, 5, 1, 4$). Os números que representam os moldes, na 2ª e na 4ª posição da sequência trocam de lugar. Para a orientação dos moldes que trocaram de lugar na sequência é sorteado randomicamente um novo número (número 0 ou número 1). Suponha-se que para a 2ª posição tenha sido sorteado o número 1 e para a 4ª posição também o número 1. A amostra Z ($2, 3, 0, 5, 1, 4$) teria orientação $(0, 1, 1, 1, 1, 0)$. Assim, os moldes que tiveram suas posições alteradas na sequência possuem 50% de chance de mudarem também a orientação.

A Figura 107 exemplifica as duas amostras X_t e Z através de moldes. São indicados os números que representam os moldes e as suas orientações de rotação.

Figura 107 – Exemplo da construção da amostra Z a partir da amostra X_t



Fonte: a Autora

Para cada amostra gerada é preciso construir o encaixe dos moldes no tecido e calcular a eficiência de utilização da matéria-prima. O modo como os moldes são dispostos no tecido é descrito no próximo subcapítulo.

8.3 ENCAIXE DOS MOLDES NO TECIDO

O encaixe dos moldes no tecido é igual ao descrito no capítulo 7 para os moldes menores e semelhante ao empregado no Riscare (subcapítulo 3.4.9). A principal

diferença está na sequência utilizada. No capítulo 7 os moldes menores eram ordenados em uma sequência que iniciava com o molde com maior área e terminava com o molde de menor área. No algoritmo proposto neste capítulo, utiliza-se a sequência e orientação dos moldes definidas através da geração de amostra. Assim, a sequência de moldes da amostra $Z(2,3,0,5,1,4)$ com orientação $(0,1,1,1,1,0)$ é disposta no tecido.

Inicia-se com o primeiro molde, molde nº 2 com orientação de 0° , que é colocado na parte superior esquerda do tecido. Insere-se o segundo molde, molde nº 3 com orientação de 180° , na mesma posição do primeiro. Se houver sobreposição entre os moldes o segundo molde é deslocado no valor de um *grid* para baixo no eixo y . Enquanto existir sobreposição o molde é deslocado no valor de um *grid* para baixo no eixo y . Se o molde não encontrar um local disponível e atingir a largura inferior do tecido, é incrementado um *grid* no eixo x , e o molde retorna para a posição inicial no eixo y . O processo só termina quando o molde encontra um local sem sobreposição. O encaixe finaliza quando todos os moldes são inseridos no tecido.

8.4 FASES DE *BURN-IN* E ITERAÇÕES

O Algoritmo de Metropolis-Hastings é dividido em duas fases: *Burn-in* e Iterações. Essas fases são muito semelhantes e dentro delas ocorrem as etapas de Geração de amostra e Encaixe dos moldes no tecido. Dentro de ambas as fases há uma determinada quantidade de iterações. A cada iteração tem-se uma nova amostra e os moldes são colocados sobre o tecido para poder avaliar a eficiência do encaixe. A divisão em duas fases distintas ocorre porque para o cálculo do valor esperado (Equação 2 mostrada no subcapítulo 3.5) a fase de *Burn-in* não deve ser considerada.

No algoritmo de Metropolis-Hastings o tamanho das fases pode ser definido de duas formas distintas: quantidade de iterações ou tempo de processamento. Independente da escolha que seja feita, é necessária a atribuição de valores para essas fases. Segundo Gilks, Richardson e Spiegelhalter (1996), ao final da fase de *Burn-in*, a cadeia não deve conseguir mais relacionar uma amostra com a sua posição inicial. Assim, consegue-se determinar a quantidade de iterações dessa fase através da verificação das amostras. Se a amostra está suficientemente diferente de sua posição inicial, pode-se passar para a fase de Iterações.

Assim como a fase de *Burn-in*, é preciso a definição de um número total de iterações para o algoritmo. Neste trabalho utilizou-se o método recomendado por Gilks,

Richardson e Spiegelhalter (1996). Executou-se o algoritmo quatro vezes em paralelo, com diferentes amostras no estado inicial da cadeia e compararam-se os resultados de cada uma das cadeias. Para poder verificar os dados, construiu-se um gráfico. O gráfico é a forma recomendada Gilks, Richardson e Spiegelhalter (1996) para ter certeza que o algoritmo está funcionando corretamente. Através dos testes e dos gráficos pode-se visualizar o ponto de convergência da cadeia. Depois do ponto de convergência da cadeia, as amostras geradas têm valores de médias de eficiência muito próximos. Assim, sabe-se que não haverá uma grande diferença no resultado do algoritmo se a quantidade de iterações aumentar após o ponto de convergência da cadeia.

8.4.1 Cálculo do valor de eficiência média e cálculo do valor esperado

Para montar os gráficos e analisar o ponto de convergência da cadeia foi necessário calcular o valor de eficiência média para o problema. Para calcular a eficiência média utilizou-se a Equação 31 que é baseada na Equação 2 (cálculo do valor esperado) descrita no subcapítulo 3.5 do presente trabalho. Considerou-se a cadeia $\{X_t; t = 1, \dots, n\}$; onde n é a última iteração da fase Iterações.

$$\bar{fe} = \frac{1}{t} \sum_1^t f(X_t) \quad (31)$$

Onde:

\bar{fe} = valor de eficiência média;

t = iteração;

$f(X_t)$ = valor da eficiência na posição t .

A Equação 31 foi calculada a cada iteração do algoritmo e utilizada para montar os gráficos de valor de eficiência média, que são mostrados no próximo subcapítulo. O resultado do cálculo do valor de eficiência média na última iteração, ou seja, em n , é igual ao valor esperado.

O presente trabalho utiliza o algoritmo de Metropolis-Hastings na busca do melhor encaixe. Assim, o valor de eficiência média e o valor esperado foram calculados para verificar o ponto de convergência da cadeia e comprovar que o algoritmo funciona como descrito na literatura. Situação diferente dos trabalhos que utilizam o algoritmo de

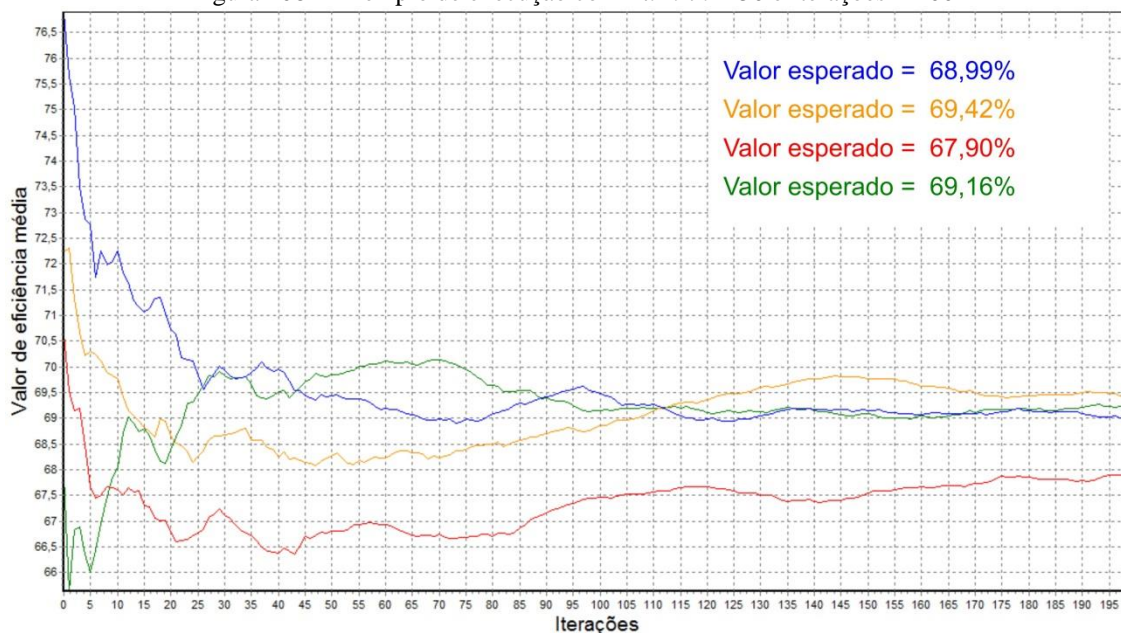
Metropolis-Hastings para calcular probabilidades de acontecimentos, em que o valor esperado é o principal resultado.

8.4.2 Definição do tamanho das fases de *Burn-in* e Iterações

No presente trabalho optou-se por utilizar três grupos de valores distintos para testar o algoritmo implementado. Escolheu-se o percentual de 20% do total de iterações (soma dos valores das fases de *Burn-in* e Iterações) para determinar o tamanho da fase de *Burn-in*. Os três grupos de valores usados foram: *Burn-in* = 50 e Iterações = 200; *Burn-in* = 500 e Iterações = 2.000 e *Burn-in* = 1.000 e Iterações = 4.000.

A Figura 108 mostra o gráfico gerado para um dos problemas testados com a fase de *Burn-in* = 50 e a fase de Iterações = 200. Para a construção do gráfico, utilizou-se o cálculo do valor de eficiência média da fase de Iterações. Por este motivo, no eixo Iterações só aparece o valor de 200 iterações. No eixo Valor de eficiência média, como o próprio nome remete, encontram-se os resultados da Equação 31 dos diferentes valores de eficiência média encontrados a cada iteração da fase de Iterações. Cada uma das execuções do algoritmo é representada por uma cor e denominada de série. Pode-se perceber que cada série inicia em um valor diferente, e ao longo das iterações começam a convergir para um valor de eficiência média semelhante.

Figura 108 – Exemplo de execução com *Burn-in* = 50 e Iterações = 200

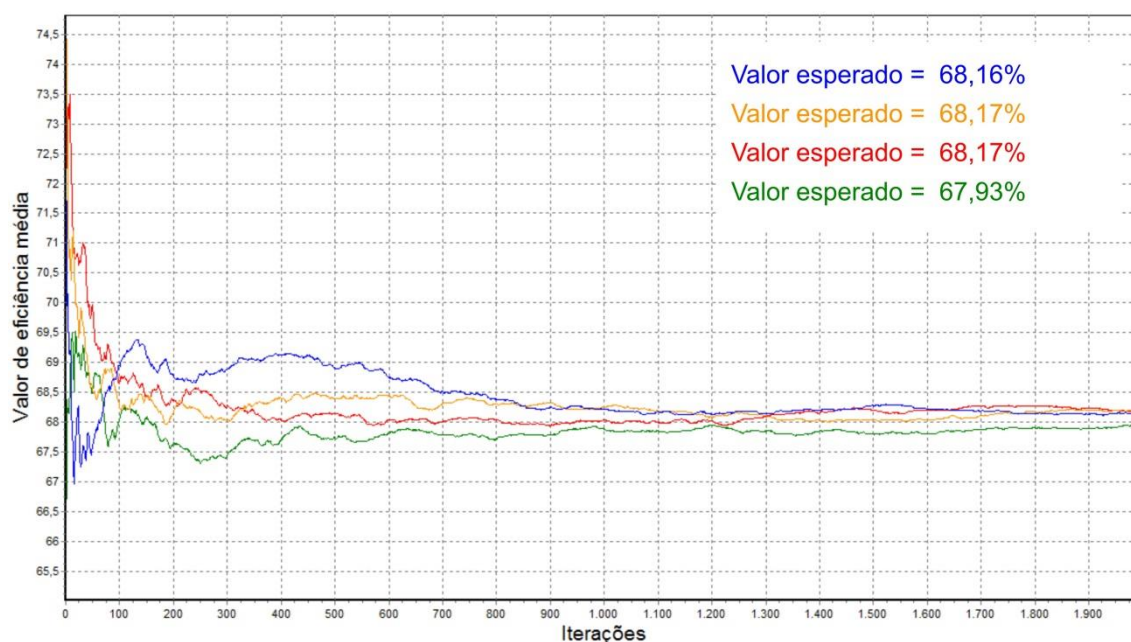


Fonte: a Autora

No final do gráfico da Figura 108, iteração de número 200, o valor esperado da série azul é de 68,99%, da série marrom claro é de 69,42%, da série vermelha é de 67,9% e da série verde é de 69,16%.

A Figura 109 exibe o gráfico para o mesmo problema anterior, porém com a fase de *Burn-in* = 500 e de Iterações = 2.000. Percebe-se no gráfico da Figura 109 que a convergência das séries fica mais evidente por volta da 1000ª iteração. A convergência das séries é apontada por Gilks, Richardson e Spiegelhalter (1996) como uma característica de que o algoritmo funciona corretamente.

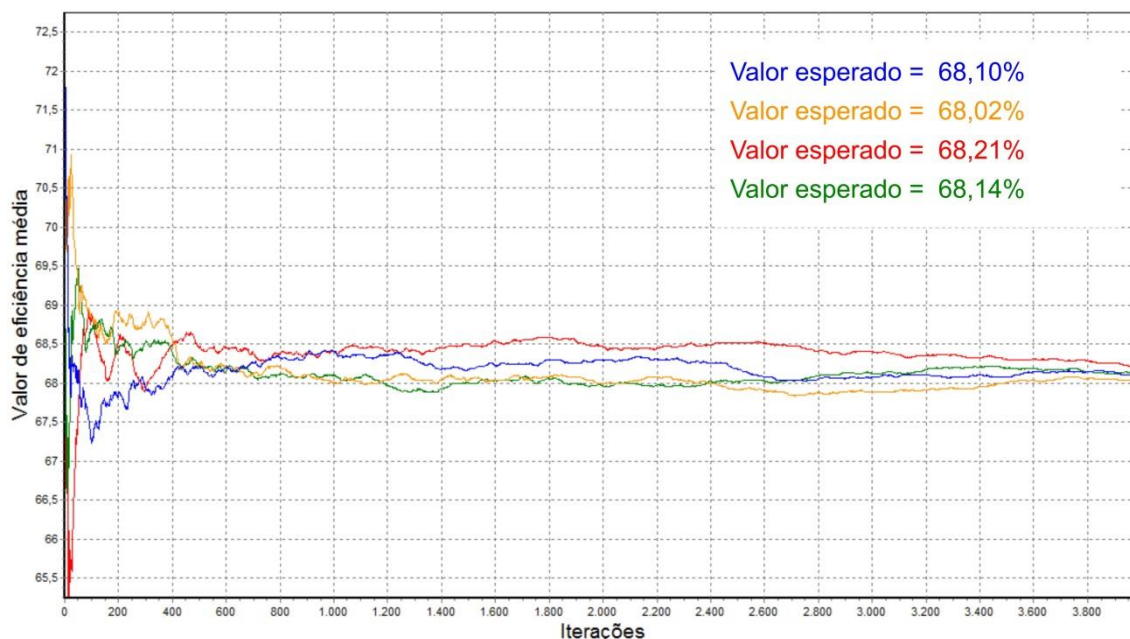
Figura 109 – Exemplo de execução com *Burn-in* = 500 e Iterações = 2.000



Fonte: a Autora

No final do gráfico da Figura 109, iteração de número 2.000, o valor esperado da série azul é de 68,16%, da série marrom claro é de 68,17%, da série vermelha é de 68,17% e da série verde é de 67,93%.

A Figura 110 mostra outro gráfico, ainda para o mesmo problema, porém com a fase de *Burn-in* = 1.000 e de Iterações = 4.000. Percebe-se no gráfico que, por volta da 700ª iteração, já há convergência da cadeia. No final do gráfico da Figura 110, iteração de número 4.000, o valor esperado da série azul é de 68,1%, da série marrom claro é de 68,02%, da série vermelha é de 68,21% e da série verde é de 68,14%.

Figura 110 – Exemplo de execução com *Burn-in* = 1.000 e Iterações = 4.000

Fonte: a Autora

Analisando-se os resultados obtidos nos gráficos (figs. 108, 109 e 110) percebe-se que a convergência da cadeia é mais evidente nos dois últimos gráficos, em que a quantidade de iterações é consideravelmente maior do que no gráfico da Figura 108. Somando-se o total da fase de *Burn-in* com o ponto de convergência da cadeia para os gráficos das Figuras 109 e 110 se obtêm, respectivamente, um total de 1.500 e 1.700 iterações. Percebe-se que os valores esperados de eficiência das Figuras 109 e 110, estão situados muito próximos de 68%. Assim, apesar do gráfico da Figura 110 ter um número maior de iterações para as duas fases, o ponto de convergência da cadeia e os valores esperados obtidos são semelhantes.

Através de testes realizados com diferentes problemas, optou-se por manter os grupos de valores descritos anteriormente para a execução do algoritmo de busca do melhor encaixe. Percebeu-se que, para a maioria dos problemas, a convergência da cadeia acontecia por volta da 2.000ª iteração. Mesmo assim, ainda optou-se por manter o último grupo de valor (*Burn-in* = 1.000 e Iterações = 4.000) para verificar se haveria melhora na obtenção de eficiência para o encaixe. Quando busca-se a solução mais próxima da provável de acontecer, não há interesse em aumentar o número de iterações depois que a cadeia começa a convergir.

8.5 ALGORITMO DE BUSCA DO MELHOR ENCAIXE UTILIZANDO METROPOLIS-HASTINGS

O algoritmo proposto utiliza o algoritmo Metropolis-Hastings e emprega todas as etapas descritas neste capítulo: Estado inicial da cadeia (item 8.1), Geração de amostras (item 8.2), Construção do encaixe (item 8.3) e as fases de *Burn-in* e Iterações (item 8.4).

O algoritmo Metropolis-Hastings, como abordado no subcapítulo 3.5, tem alguns conceitos que precisam ser definidos, de acordo com o problema, antes de sua implementação. Um desses conceitos é a distribuição de interesse $\pi(X)$, que no algoritmo de busca do melhor encaixe representa o problema a ser analisado, neste caso, o encaixe. Para avaliar a qualidade do encaixe calcula-se a eficiência de cada amostra através da Equação 1. No algoritmo Metropolis-Hastings trabalha-se sempre com duas amostras, uma que já foi aceita, chamada de X_t , e outra que será avaliada, denominada de Y . Assim, a distribuição de interesse $\pi(X)$ é a eficiência do encaixe da amostra X_t .

Outro conceito que precisa ser definido para a implementação do algoritmo Metropolis-Hastings é a distribuição proposta. No presente trabalho a distribuição proposta $\pi(Y)$ é a ação realizada na geração de amostra, em que dois moldes trocam de posição e podem mudar de orientação, para a criação de uma nova sequência de moldes. Para avaliar a qualidade da amostra também é utilizada a Equação 1, calculando a eficiência obtida com o encaixe dos moldes em uma determinada sequência e orientação. Com os conceitos definidos descreve-se a seguir como o algoritmo foi implementado para a busca do melhor encaixe. Ao longo da descrição são feitas referências às linhas do algoritmo que está situado no Quadro 5.

O algoritmo parte de um estado inicial da cadeia que é gerado de forma aleatória (linha 1 do Quadro 5). O objetivo do estado inicial da cadeia é prover um ponto de partida diferente para cada vez que o algoritmo for executado. Após essa etapa, o algoritmo está dividido em duas partes: fase de *Burn-in* (linha 2 a 17) e fase de Iterações (linha 18 a 34). As etapas que ocorrem dentro de cada uma dessas fases são muito semelhantes, a única diferença é o cálculo do valor de eficiência média (linha 32) que só acontece na fase de Iterações.

Inicia-se a fase de *Burn-in* (linha 3) com o estado inicial da cadeia X_0 . A fase de *Burn-in* é repetida uma quantidade de iterações (t) (linha 4). As amostras que são

aceitas fazem a cadeia andar ($t + 1$), situação diferente ocorre com as amostras que não são aceitas.

Dentro da fase de *Burn-in* e, a partir do estado inicial da cadeia, é executada a geração de amostra pela troca de posição entre dois moldes nas sequências das amostras X_t e Y (linha 5). Na geração de amostra também há a possibilidade dos dois moldes trocarem de orientação. O encaixe é construído pela colocação dos moldes no tecido de acordo com a sequência e orientação da amostra Y (linha 6). Para o encaixe da amostra Y é calculada a eficiência com a Equação 1 (linha 7).

Gera-se uma variável aleatória uniforme (linha 8). Essa variável sempre terá um valor entre 0 e 1. Foi definida a precisão de nove casas decimais para a variável aleatória. Um exemplo de U é o número 0,940329425.

Na linha 9 é verificado se a amostra será aceita ou não. Para a probabilidade de aceitação empregou-se a Equação 3 proposta em Metropolis *et al.* (1953). A probabilidade de aceitação faz uma divisão entre a eficiência do encaixe da amostra Y (nova amostra) pela eficiência do encaixe da amostra X_t (já aceita). Se a amostra Y tiver uma eficiência maior que X_t , o resultado da divisão será maior que 1. Caso contrário, se a amostra Y tiver uma eficiência menor que X_t , o resultado da divisão será menor que 1. A probabilidade de aceitação utiliza o menor valor entre 1 e a divisão entre as eficiências. Sabe-se que a variável aleatória uniforme nunca é maior que 1. Por esse motivo, a nova amostra Y é aceita sempre que tem eficiência de encaixe melhor do que a amostra anterior X_t . Por outro lado, a aceitação da amostra Y , com eficiência de encaixe pior que X_t , depende do valor da variável randômica uniforme. Assim, uma amostra que tem eficiência pior do que a amostra anterior também pode eventualmente ser aceita. Em qualquer das duas situações, se a amostra Y for aceita, a cadeia se move e $X_{t+1} = Y$ (linha 10), caso contrário a cadeia permanece inalterada e $X_{t+1} = X_t$ (linha 13). Se a amostra X_{t+1} tiver a melhor eficiência entre todas as amostras geradas, guarda-se as informações para a construção do encaixe final (linha 15). Independente se a cadeia se moveu ou não, será gerada uma nova amostra Y . O processo se repete até alcançar o número definido de iterações.

Como já citado, a fase de Iterações (linha 18 a 34) é muito semelhante à fase de *Burn-in*. As duas únicas diferenças entre as fases são: número de iterações, amostra inicial e cálculo do valor de eficiência média. Enquanto a fase de *Burn-in* parte da

amostra estado inicial da cadeia (linha 1), a fase Iterações utiliza a última amostra da fase de *Burn-in*. O cálculo do valor de eficiência média (linha 32) é feito através da Equação 31 para cada amostra da fase de Iterações, independente se ela foi aceita ou não.

Depois das fases de *Burn-in* e Iterações, a amostra que obteve maior eficiência é escolhida como solução final e utiliza-se a sequência dos moldes e orientação para a construção do encaixe final. Guardam-se os valores de eficiência média em um arquivo para a construção dos gráficos. No Quadro 5 está o algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando Metropolis-Hastings.

Quadro 5 – Algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando Metropolis-Hastings

1. Definir um estado inicial da cadeia X_0 ;
2. //Fase *Burn-in*
3. Dado o valor inicial X_0 , definir $t = 0$;
4. Enquanto ($t < \text{Burn-in}$) repetir {
 5. Geração de amostra Y pela troca de posição e rotação entre dois moldes;
 6. Construção do encaixe dos moldes da amostra Y ;
 7. Cálculo da eficiência do encaixe;
 8. Amostragem da variável randômica uniforme $U [0,1]$;
 9. Se $U \leq \min\left(1, \frac{\text{Eficiência}(Y)}{\text{Eficiência}(X_t)}\right)$ então:
 10. $X_{t+1} = Y$
 11. $\text{Eficiência}(X_{t+1}) = \text{Eficiência}(Y)$
 12. Caso contrário:
 13. $X_{t+1} = X_t$
 14. $\text{Eficiência}(X_{t+1}) = \text{Eficiência}(X_t)$
 15. Salvar informações do melhor encaixe entre todas as amostras;
16. Incrementar t ;
17. }
18. //Fase *Iterações*
19. Dado o valor X_t da última amostra da fase de *Burn-in*;
20. Enquanto ($t < \text{Iterações}$) repetir {
 21. Geração de amostra Y pela troca de posição e rotação entre dois moldes;
 22. Construção do encaixe dos moldes da amostra Y ;
 23. Cálculo da eficiência do encaixe;
 24. Amostragem da variável randômica uniforme $U (0,1)$;
 25. Se $U \leq \min\left(1, \frac{\text{Eficiência}(Y)}{\text{Eficiência}(X_t)}\right)$ então:
 26. $X_{t+1} = Y$
 27. $\text{Eficiência}(X_{t+1}) = \text{Eficiência}(Y)$
 28. Caso contrário:
 29. $X_{t+1} = X_t$
 30. $\text{Eficiência}(X_{t+1}) = \text{Eficiência}(X_t)$
 31. Salvar informações do melhor encaixe entre todas as amostras;
 32. Cálculo do valor de eficiência média: $\bar{f} = \frac{1}{t} \sum_1^t f(X_t)$;
33. Incrementar t ;
34. }
35. Dispor os moldes no tecido conforme amostra com melhor eficiência de encaixe.

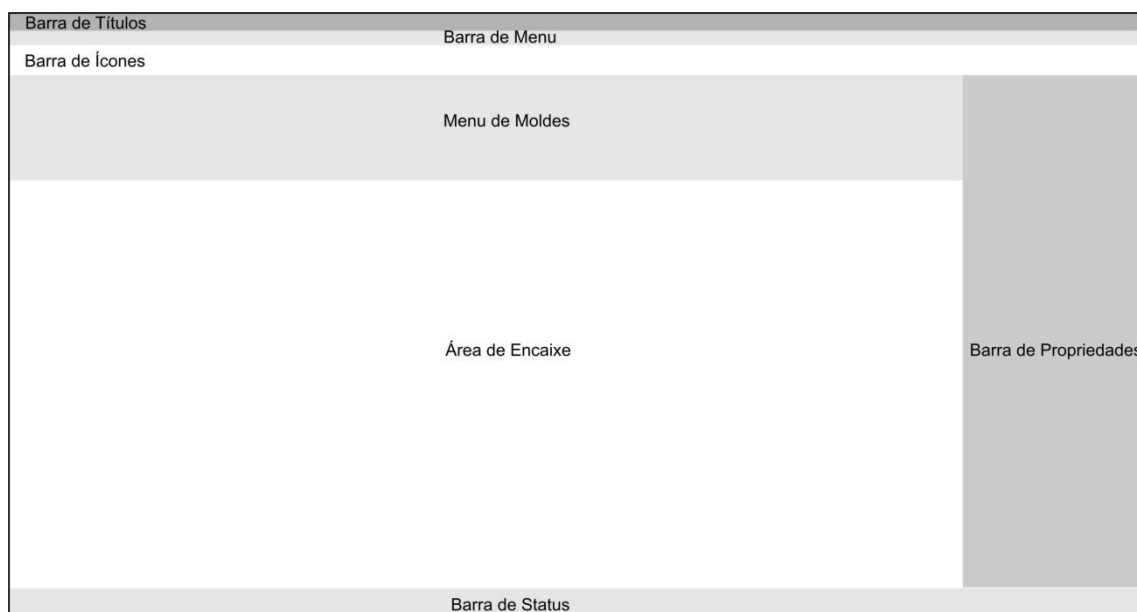
Fonte: a Autora

9. RISCARE LISTRADO

Este capítulo descreve o funcionamento dos dois algoritmos propostos através da interface do software Riscare Listrado. Para cada um dos algoritmos foram desenvolvidas funcionalidades diferentes. O software Riscare Listrado é uma nova versão do software Riscare, apresentado em Alves (2010), e utiliza uma interface muito semelhante.

Para o software Riscare a interface foi desenvolvida utilizando os conceitos de usabilidade²⁵. Em Alves (2010) foi feita uma avaliação utilizando os critérios disponíveis no site ErgoList (ERGOLIST, 2008). Essa avaliação foi utilizada para construção da interface do software Riscare. A interface foi dividida em zonas funcionais, onde estão inseridos componentes com funções semelhantes. A Figura 111 mostra as zonas funcionais da interface: Barra de Títulos, Barra de Menu, Barra de Ícones, Menu de Moldes, Área de Encaixe, Barra de Propriedades e Barra de Status.

Figura 111 - Zonas funcionais da interface do software Riscare

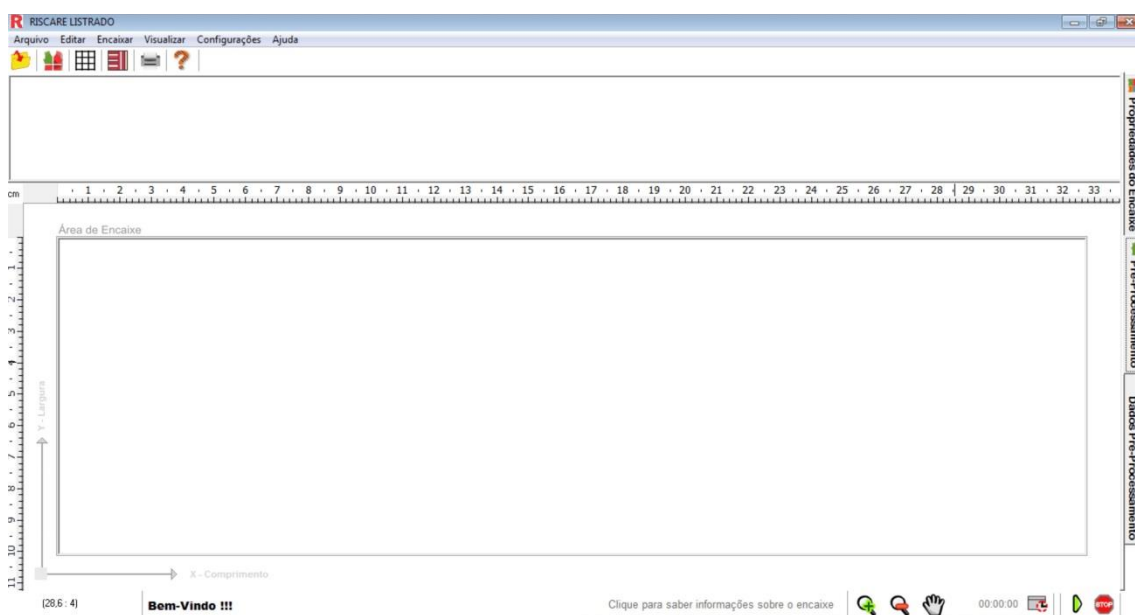


Fonte: a Autora

²⁵ Segundo Bastien e Scapin (1993), a usabilidade está diretamente relacionada com a troca de informações que acontece na interface de um sistema e a capacidade do *software* em permitir que o usuário realize as tarefas desejadas. A usabilidade contribui para a “aceitabilidade de um sistema” que, segundo Nielsen (1994), refere-se à capacidade do mesmo em satisfazer todas as necessidades e exigências dos usuários. Segundo Shackel e Richardson (1991), a usabilidade de um *software* diz respeito à facilidade e eficácia do mesmo quando utilizado pelos usuários aos quais ele se destina, na realização de determinadas tarefas e dentro de contextos específicos.

A Figura 112 mostra a interface do software Riscare Listrado com os componentes nas zonas funcionais descritas na Figura 111. A principal área da interface é a Área de Encaixe, localizada no centro e com o maior tamanho. Nessa parte da interface é mostrado o encaixe final dos moldes, principal objetivo do programa. Da mesma forma que em outros softwares de encaixe de moldes, como das empresas Audaces e Lectra, a Área de Encaixe também apresenta formato retangular e está disposta horizontalmente.

Figura 112 - Interface software Riscare Listrado



Fonte: a Autora

Nos próximos dois subcapítulos é apresentada a sequência de etapas necessárias, a partir da interface do software Riscare Listrado, para o encaixe de moldes a partir dos algoritmos propostos. Primeiramente, é mostrado o algoritmo com pré-processamento e após o algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings.

9.1 RISCARE LISTRADO E ALGORITMO COM PRÉ-PROCESSAMENTO

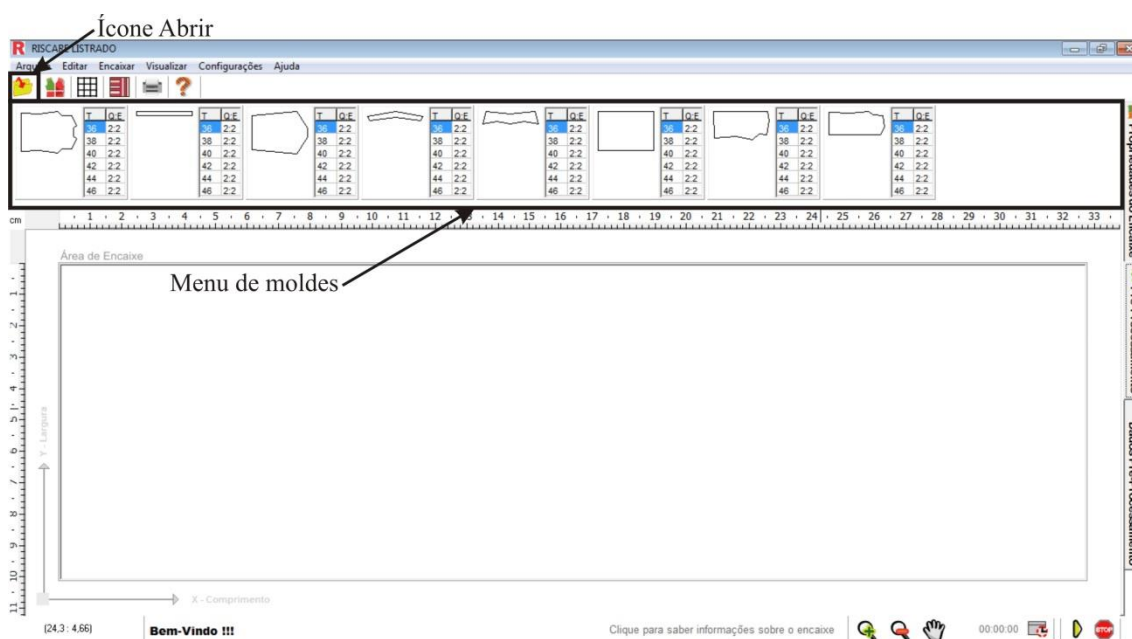
Para o encaixe dos moldes é necessária à definição de características e restrições do encaixe no software Riscare Listrado: moldes que serão colocados no tecido (item 9.1.1); tipo de listra (vertical ou horizontal) e tamanho do módulo da listra (item 9.1.2);

pontos de coincidência, possibilidades de rotação e quantidade de cada molde (item 9.1.3); etapa de pré-processamento (9.1.4) e etapa de construção do encaixe (9.1.5).

9.1.1 Definição dos moldes que serão colocados no tecido

A primeira etapa que precisa ser executada pelo usuário no software Riscare Listrado é a definição dos moldes que serão colocados no tecido. O usuário deve ter esses moldes desenhados em modo vetorial e salvos na extensão de arquivo *.dxf*. Na interface do software Riscare há o ícone Abrir na Barra de Ícones. O usuário deve clicar nesse ícone e selecionar os moldes que deseja encaixar. A Figura 113 mostra a interface do software Riscare Listrado com a indicação do ícone Abrir e os moldes selecionados.

Figura 113 - Interface Riscare Listrado com destaque para o Ícone Abrir e o Menu de Moldes



Fonte: a Autora

9.1.2 Tipo de listra e tamanho do módulo da listra

A segunda etapa que o usuário deve executar é clicar no ícone Encaixe em tecido listrado. A Figura 114 mostra este ícone na Barra de ícones.

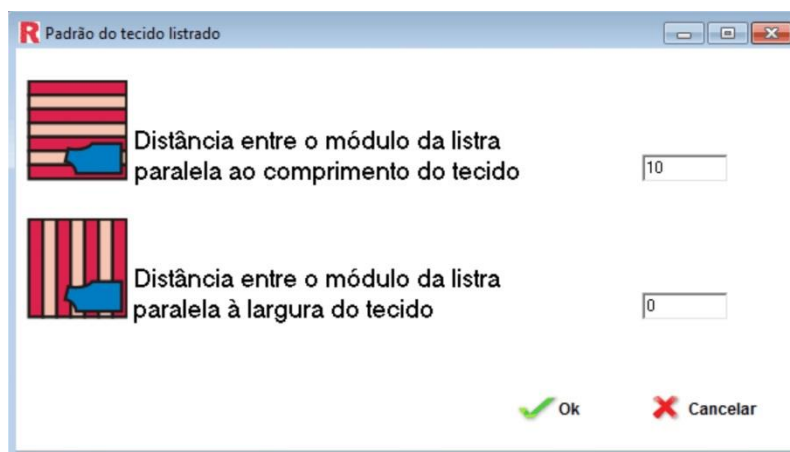
Figura 114 - Ícone Encaixe em tecido listrado



Fonte: a Autora

Ao clicar neste ícone abre a caixa de diálogo Padrão do tecido listrado. Nesta caixa de diálogo define-se o tipo de listra, vertical ou horizontal, e o tamanho do módulo da listra. A caixa de diálogo Padrão do tecido listrado é mostrada na Figura 115. Foi definido, como exemplo, um tamanho de módulo de 10 unidades para listra vertical.

Figura 115 - Caixa de diálogo Padrão do tecido listrado

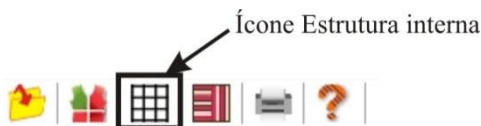


Fonte: a Autora

9.1.3 Pontos de coincidência, possibilidades de rotação e quantidade de moldes

Após definido o tipo de listra e o tamanho do módulo da listra é preciso identificar em cada molde: pontos de coincidência, possibilidade de rotação e quantidade. Para fazer essas designações clica-se no ícone Estrutura interna. A Figura 116 mostra o ícone Estrutura interna na Barra de Ícones.

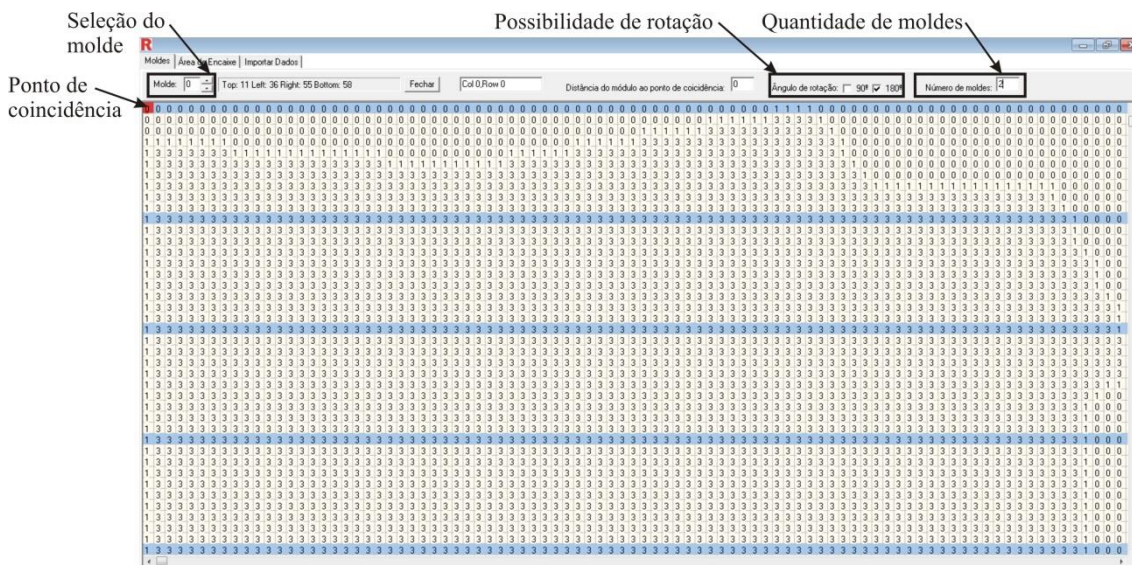
Figura 116 - Ícone Estrutura interna



Fonte: a Autora

O ícone Estrutura interna abre a caixa de diálogo Estrutura interna. A Figura 117 mostra essa caixa de diálogo aberta na primeira aba. Nessa aba seleciona-se o molde, que aparece desenhado na interface através do método *raster*, escolhe-se o ponto de coincidência clicando sobre um determinado *grid*, a possibilidade de rotação e a quantidade de moldes daquela peça específica.

Figura 117 - Caixa de diálogo Estrutura Interna



Fonte: a Autora

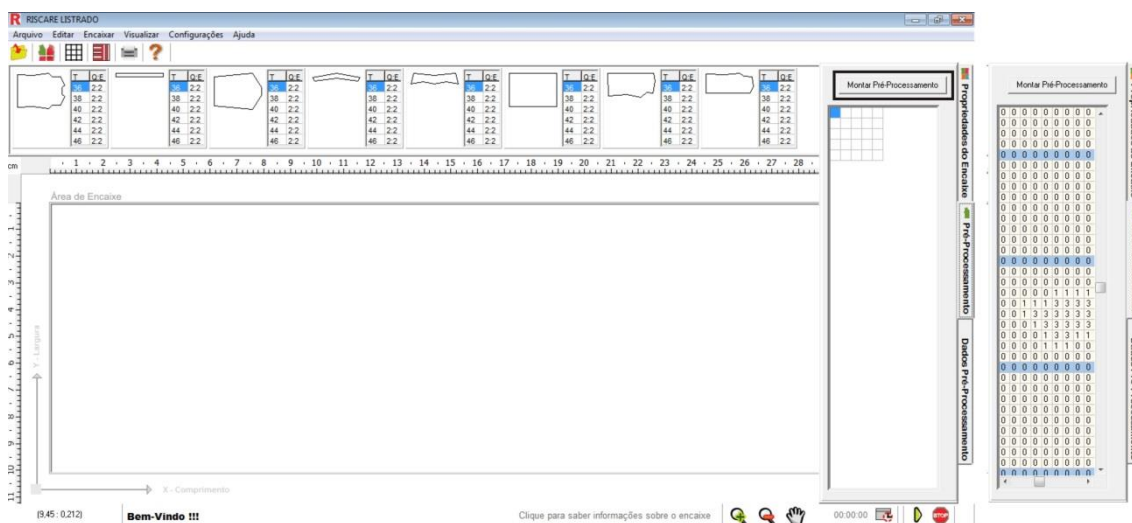
As definições mostradas na Figura 117 devem ser feitas para todos os moldes selecionados. Após essa fase e antes da construção do encaixe ocorre a etapa de pré-processamento.

9.1.4 Etapa de pré-processamento no software Riscare Listrado

Depois de fechar a caixa de diálogo Estrutura interna abre-se na interface do software a aba Pré-processamento e dentro dessa aba clica-se em Montar pré-processamento. Com o clique no botão inicia toda a etapa de pré-processamento do algoritmo descrito no capítulo 7 desta pesquisa.

A Figura 118 mostra a interface do software com a aba Pré-processamento aberta. No canto direito da Figura está a mesma aba, porém após o cálculo dessa fase. Diferente da imagem da interface, em que não há *grids* na aba Pré-processamento, após a execução da fase aparecem os *grids* do tecido e o molde *Pf*. Nesse momento todas as informações sobre o encaixe entre dois moldes, do grupo dos maiores moldes já foram calculadas.

Figura 118 - Aba Pré-processamento aberta antes e depois da execução da etapa de pré-processamento



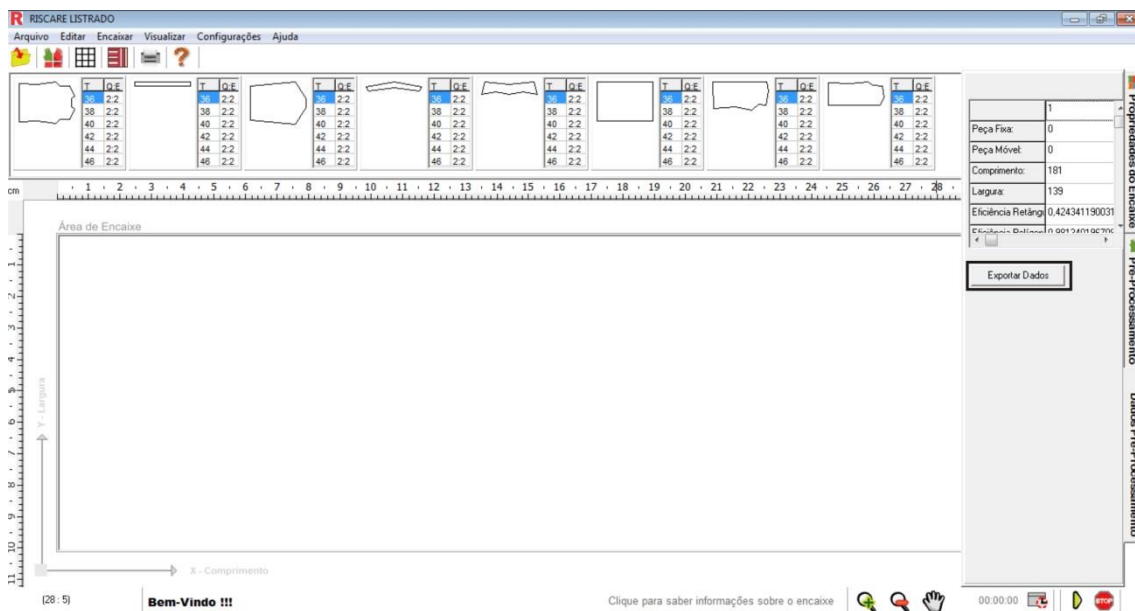
Fonte: a Autora

Após o cálculo da etapa de pré-processamento é preciso guardar essas informações em um arquivo de Excel. O benefício de guardar as informações ocorre sempre que se desejar fazer um novo encaixe com os moldes de um determinado modelo de roupa. Assim, não ser necessário executar novamente as etapas descritas de abrir os moldes e definir as restrições, é preciso apenas abrir o arquivo em Excel salvo com as informações. Pode-se modificar a largura do tecido em que será realizado o encaixe, assim como a quantidade de modelos que serão colocados sobre o tecido, e não será necessário recalculá-lo a etapa de pré-processamento.

Para guardar as informações da etapa de pré-processamento abre-se a aba Dados pré-processamento da Barra de Propriedades e clica-se sobre o botão Exportar Dados. Esse botão fará o procedimento de exportação dos dados salvos para um arquivo do Excel. Ao final do processo o arquivo do Excel é aberto com os dados gravados.

A Figura 119 mostra a aba Dados pré-processamento aberta com o botão Exportar Dados destacado com contorno na cor preta. Para executar a exportação das informações o usuário deve clicar nesse botão. Após a conclusão dessa etapa pode-se iniciar a construção do encaixe.

Figura 119 - Aba Dados pré-processamento da Barra de Propriedades



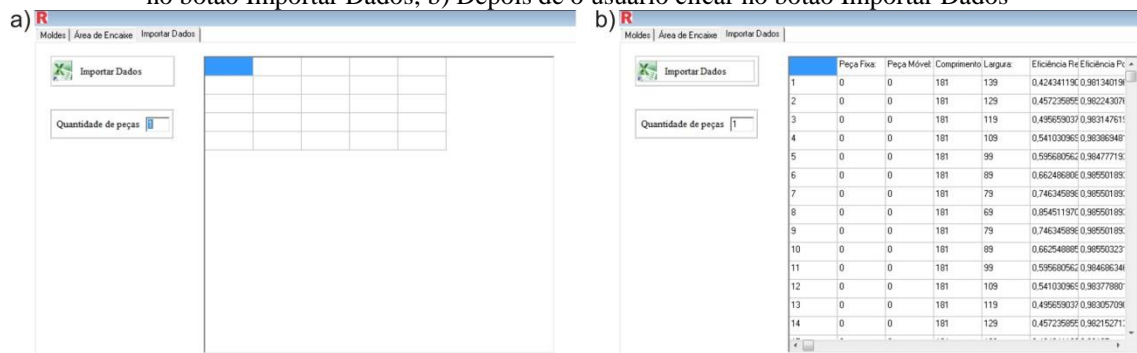
Fonte: a Autora

9.1.5 Etapa de construção do encaixe no software Riscare Listrado

A etapa de encaixe inicia na caixa de diálogo Estrutura Interna, mostrada anteriormente. Porém, utiliza-se neste momento a aba Importar Dados. Uma vez que os dados da etapa de pré-processamento foram exportados e salvos em um arquivo de Excel é preciso importar essas informações para poder utilizá-las na construção do encaixe.

A Figura 120 mostra a caixa de diálogo Estrutura Interna aberta na aba Importar Dados. Na Figura 120a aparece a interface antes do usuário abrir o arquivo do Excel e a Figura 120b a interface após essa ação.

Figura 120 - Caixa de diálogo Estrutura Interna com a aba Importar Dados: a) Antes de o usuário clicar no botão Importar Dados; b) Depois de o usuário clicar no botão Importar Dados

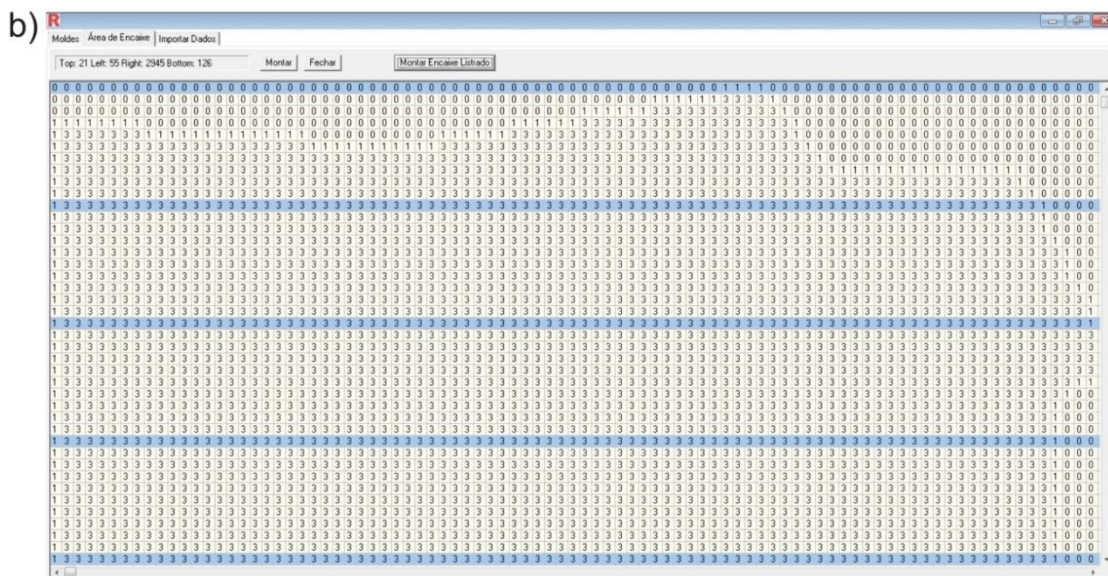
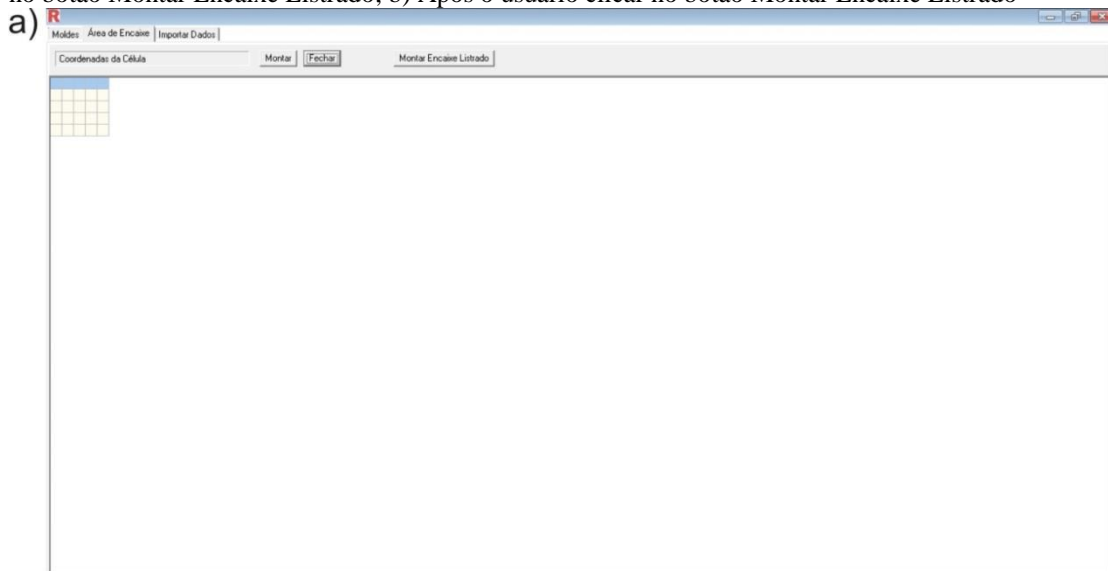


Fonte: a Autora

Na aba Importar Dados também é possível definir a quantidades de peças de roupa. Essa opção é diferente da quantidade de moldes, que pode definir, por exemplo, que uma determinada blusa precisa de dois moldes de manga, porém apenas um molde da frente. A quantidade de peças indica, no caso do exemplo, a quantidade de blusas.

O próximo passo é clicar na aba Área de Encaixe da caixa de diálogo Estrutura Interna. Nesta aba há o botão Montar Encaixe Listrado que executa a etapa de construção do encaixe. A Figura 121 mostra a caixa de diálogo Estrutura Interna com a aba Área de Encaixe. A Figura 121a mostra a interface antes do clique no botão Montar Encaixe Listrado, enquanto que a Figura 121b mostra a interface após essa ação.

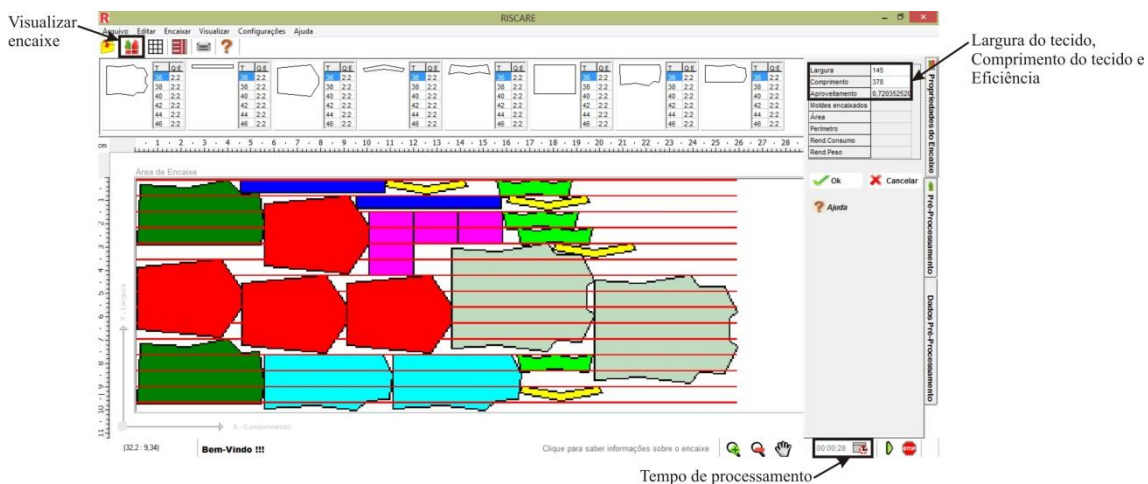
Figura 121 - Caixa de diálogo Estrutura Interna com a aba Área de Encaixe: a) Antes de o usuário clicar no botão Montar Encaixe Listrado; b) Após o usuário clicar no botão Montar Encaixe Listrado



Fonte: a Autora

A aba Área de Encaixe mostra o encaixe através do método *Raster*. Para visualização do encaixe final no modo vetorial o usuário deve clicar no ícone Visualizar encaixe na interface. A Figura 122 mostra a interface com o encaixe final e destacada com um contorno na cor preta o ícone Visualizar encaixe e as outras informações que aparecem ao clicar neste botão: tempo de processamento, largura e comprimento do tecido e eficiência.

Figura 122 - Interface Riscare Listrado com encaixe final



Fonte: a Autora

No próximo capítulo é descrito como é feita a definição das etapas no software Riscare Listrado para o algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings.

9.2 RISCARE LISTRADO E ALGORITMO DE BUSCA DO MELHOR ENCAIXE UTILIZANDO O ALGORITMO DE METROPOLIS-HASTINGS

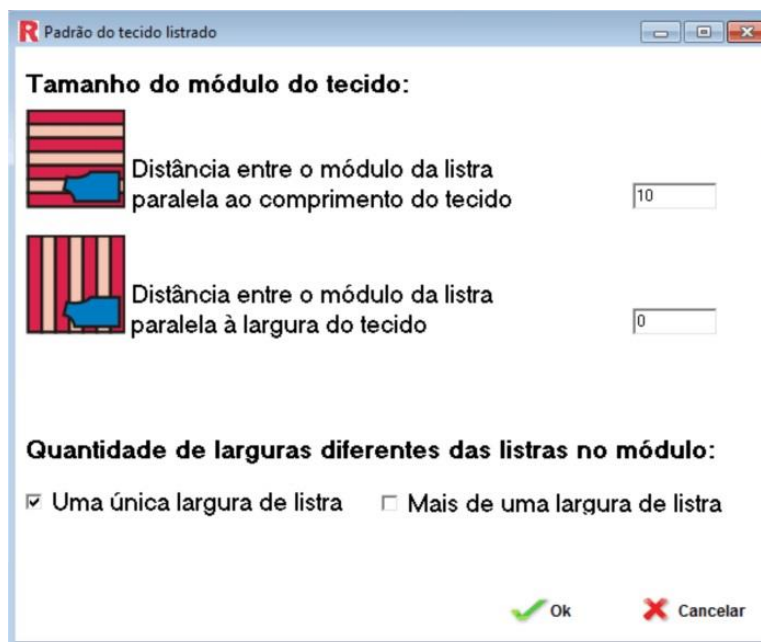
Como mostrado no subcapítulo anterior, o encaixe dos moldes no software Riscare Listrado exige a definição de características e restrições. Algumas dessas etapas são semelhantes às mostradas para o algoritmo com pré-processamento, como a seleção dos moldes que serão colocados no tecido (apresentado no item 9.1.1) e dos pontos de coincidência, possibilidades de rotação e quantidade de cada molde (mostrado no item 9.1.3). Porém, a escolha do tipo de listra e tamanho do módulo da listra (item 9.2.1); assim como a etapa de construção do encaixe (9.2.2) são diferentes no algoritmo de

busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings. Para esse algoritmo também não é utilizada a etapa de pré-processamento.

9.2.1 Tipo de listra e tamanho do módulo da listra

Após a definição dos moldes que serão colocados no tecido, é necessário escolher o tipo de listra e tamanho do módulo da listra. No algoritmo de busca do melhor encaixe, além da escolha entre listra vertical ou horizontal, empregou-se a possibilidade de eleger dois tipos de módulos de listra: com uma única largura de listra ou com diferentes larguras de listra²⁶. Assim, após clicar no ícone Encaixe em tecido listrado irá abrir a caixa de diálogo mostrada na Figura 123. A primeira escolha que o usuário deve fazer é o tamanho do módulo da listra, que é igual ao que foi apresentado para o algoritmo com pré-processamento. No exemplo da Figura 123 escolheu-se a listra vertical com tamanho de 10 unidades. A segunda escolha está relacionada ao tipo de módulo da listra, no exemplo optou-se por uma única largura de listra. Após essas definições o usuário clica no botão Ok e o software guarda as informações sobre o padrão do tecido listrado.

Figura 123 - Caixa de diálogo Padrão do tecido listrado

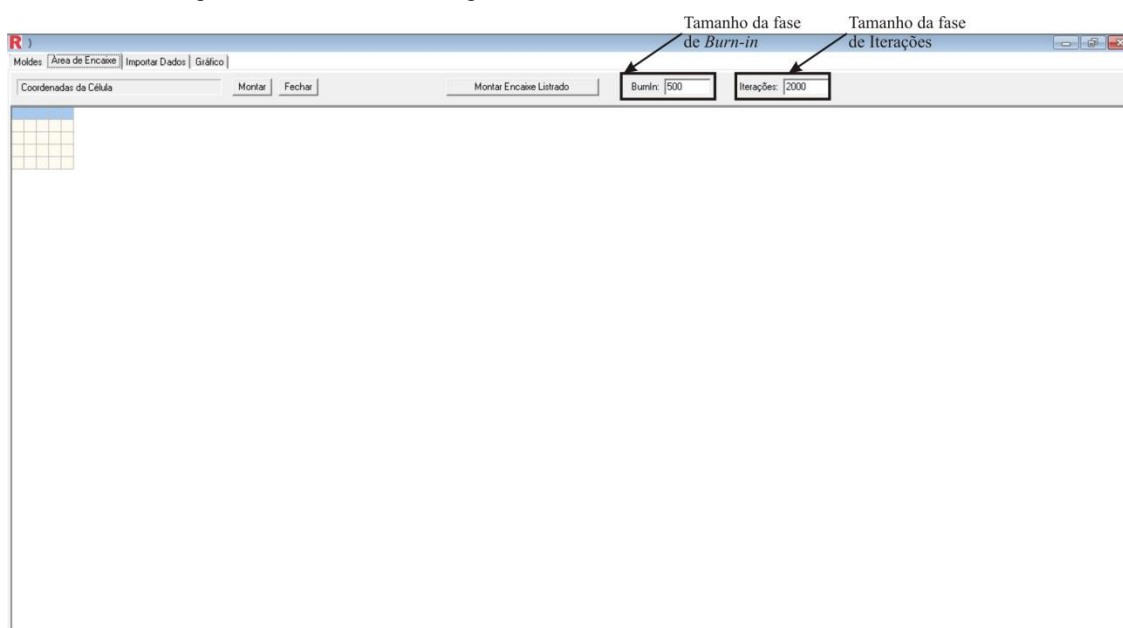


Fonte: a Autora

²⁶ O algoritmo de encaixe com pré-processamento somente pode ser executado para módulos com uma única largura de listra.

O próximo passo é clicar no ícone Estrutura interna (mostrado na fig. 116) e definir os pontos de coincidência, as possibilidades de rotação e a quantidade de moldes. Essa etapa é feita da mesma forma do que foi apresentado para o algoritmo com pré-processamento e por esse motivo não será descrita novamente. Após essa fase clica-se na aba Área de Encaixe da caixa de diálogo Estrutura Interna. A Figura 124 mostra a aba Área de Encaixe.

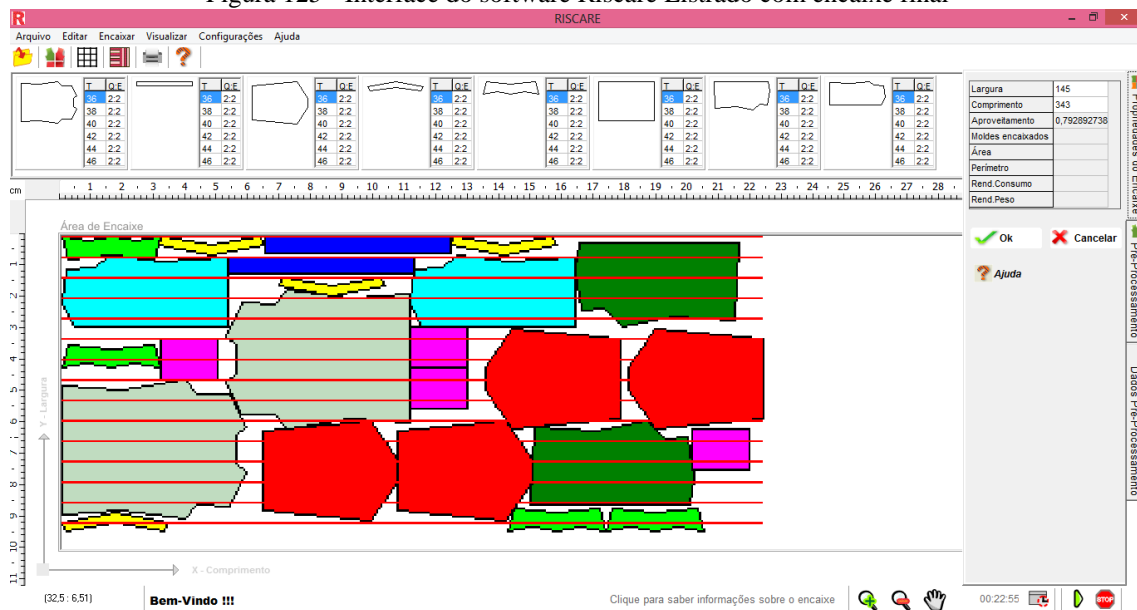
Figura 124 - Caixa de diálogo Estrutura Interna com a aba Área de Encaixe



Fonte: a Autora

Na aba Área de Encaixe da caixa de diálogo Estrutura interna há um espaço para o usuário inserir o tamanho das fases de *Burn-in* e Iterações. Após inserir a quantidade total de iterações deve-se clicar no botão Montar Encaixe Listrado que irá executar o algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings descrito no capítulo 8 do presente trabalho. Após essa etapa clica-se no ícone Visualizar encaixe para ver o encaixe final na interface. A Figura 125 mostra o encaixe final utilizando o algoritmo de busca do melhor encaixe.

Figura 125 - Interface do software Riscare Listrado com encaixe final



Fonte: a Autora

Dessa forma, foram implementadas duas versões distintas do software Riscare Listrado. A primeira para o algoritmo de encaixe com pré-processamento e a segunda para o algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings. No próximo capítulo são apresentados os resultados obtidos com as duas versões.

10. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com os encaixes de moldes de peças do vestuário no software Riscare Lustrado. Está dividido em três subcapítulos: Encaixe dos moldes utilizando o algoritmo com pré-processamento, Encaixe dos moldes usando o algoritmo de busca do melhor encaixe e Discussão dos resultados. Como descrito no capítulo 4 (Metodologia), escolheram-se para a realização dos testes 6 problemas benchmarks da literatura e foi proposto o problema Camisa masculina.

10.1 ENCAIXE DOS MOLDES UTILIZANDO O ALGORITMO COM PRÉ-PROCESSAMENTO

Nos testes realizados utilizando o algoritmo de encaixe com pré-processamento, notou-se que o tempo para a execução da etapa de pré-processamento com a possibilidade de rotação dos moldes em 180° era demasiadamente elevado. Assim, apesar do algoritmo ter sido desenvolvido para contemplar essa funcionalidade, optou-se por realizar os testes sem a possibilidade de rotação dos moldes.

A Tabela 4 mostra as eficiências em percentual e tempos em segundos obtidos para diferentes encaixes realizados. Na primeira coluna estão os nomes dos problemas que constituem um conjunto de moldes. Na segunda coluna e suas subdivisões estão os resultados obtidos para o módulo com listra vertical de uma única largura de listra e com tamanho de 10 unidades. Para o módulo com listra vertical são mostradas a melhor eficiência encontrada e o tempo de processamento, a média das eficiências obtidas com a média também do tempo de processamento. Como citado no capítulo 4, cada problema foi executado 4 vezes. Como a escolha da primeira peça a ser inserida no tecido é feita aleatoriamente, dependendo da peça selecionada o encaixe poderá ter diferentes valores de eficiência. Assim, a média é a soma aritmética das 4 eficiências registradas divididas por 4. A terceira coluna e suas subdivisões apresentam também o resultado da eficiência do melhor encaixe (Me) e a média das eficiências dos encaixes (Md), porém para listras horizontais com uma única largura de listra e com tamanho de 10 unidades. A melhor eficiência encontrada para cada problema, entre os dois módulos de listra testados, está destacada em negrito. A melhor média das eficiências está sublinhada. O problema Camisa masculina só foi testado com módulo de listra vertical. Optou-se por não testar o problema para módulo com listra horizontal por essa peça ser caracteristicamente confeccionada em módulos de listra vertical.

Tabela 4 – Eficiência dos encaixes realizados utilizando o algoritmo com pré-processamento

Problema	Listra Vertical 10				Listra Horizontal 10			
	Me (%)	T (s)	Md (%)	T (s)	Me %	T (s)	Md (%)	T (s)
Albano	72,03	28	70,29	28	73,90	24	<u>71,65</u>	24
Dagli	71,41	55	<u>68,60</u>	54	66,35	85	63,28	86
Mao	55,53	923	53,28	889	61,18	284	<u>55,96</u>	282
Marques	69,98	1	67,67	1	77,01	6	<u>72,94</u>	6
<i>Shirts</i>	78,02	75	77,04	75	79,37	10	<u>79,28</u>	10
<i>Trousers</i>	74,17	1209	71,34	1194	78,40	55	<u>74,93</u>	57
Camisa masculina	74,41	18	74,34	19	NA ¹	NA	NA	NA

1 = Não se aplica (NA).

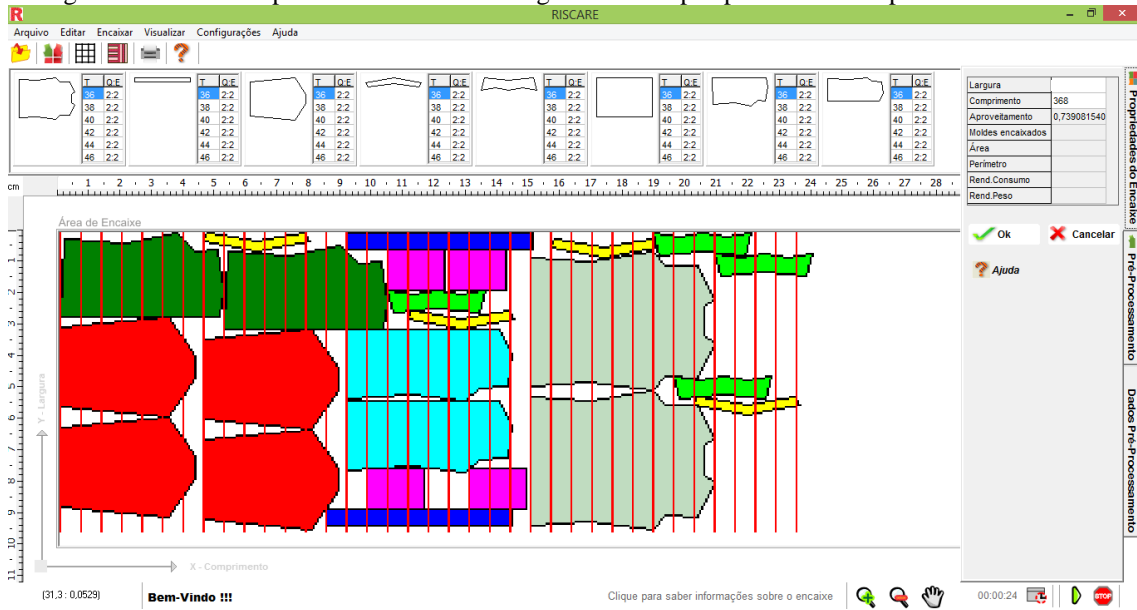
Fonte: a Autora

A Tabela 4 apresenta um total de 7 problemas. Desses, o problema Camisa masculina só foi testado para módulo de listra vertical. Dos 6 problemas restantes, cinco apresentaram melhores eficiências em módulos de listra horizontal, enquanto apenas o problema Dagli obteve melhor eficiência em módulo de listra vertical. O problema Dagli e Marques foram os únicos que apresentaram tempo de processamento menor em módulo de listra vertical.

As Figuras 126, 127, 128, 129, 130, 131 e 132 mostram a interface do software Riscare Listrado com o encaixe dos problemas da Tabela 4 que obtiveram as melhores eficiências utilizando o algoritmo de encaixe com pré-processamento. Nas figuras é possível obter as informações do comprimento, eficiência (Aproveitamento) e o tempo de processamento alcançado. Os valores referentes ao comprimento e eficiência estão no lado direito superior da interface, dentro da Aba Propriedades do Encaixe. Enquanto que o tempo necessário para o encaixe está na parte direita inferior na Barra de Status.

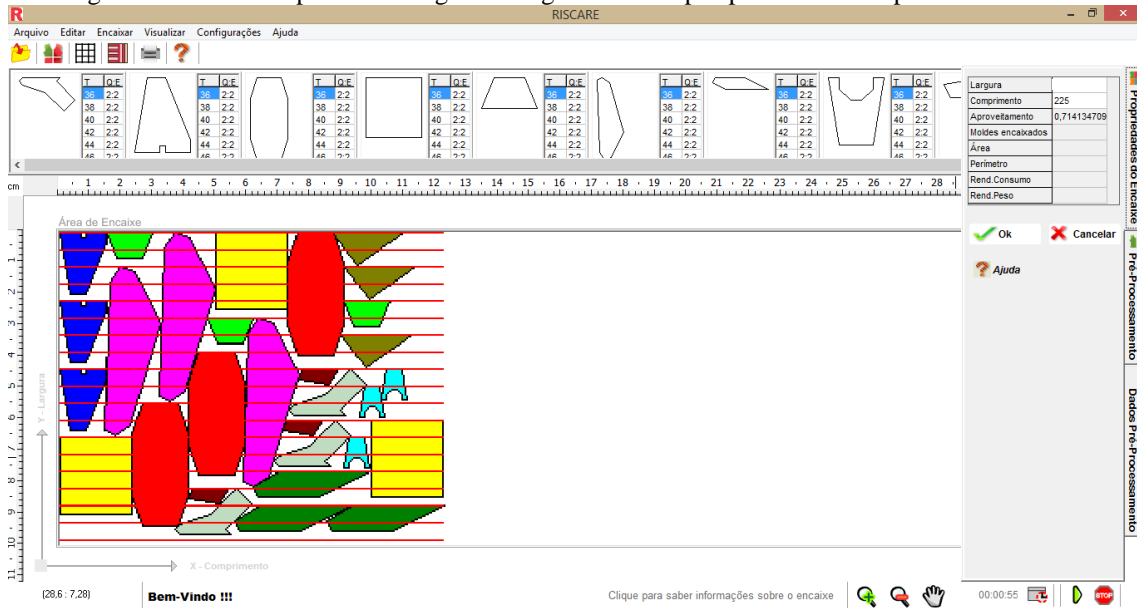
Em todas as figuras a localização do início do módulo da listra é representada por uma linha de espessura fina na cor vermelha. A linha de cor vermelha marca a repetição do módulo. É importante não confundir essa linha com o módulo em si, que pode ter diferentes listras com cores distintas dependendo do tipo do módulo, se possui uma única largura de listra ou diferentes larguras (ver capítulo 6).

Figura 126 - Encaixe problema Albano com algoritmo com pré-processamento para listra horizontal



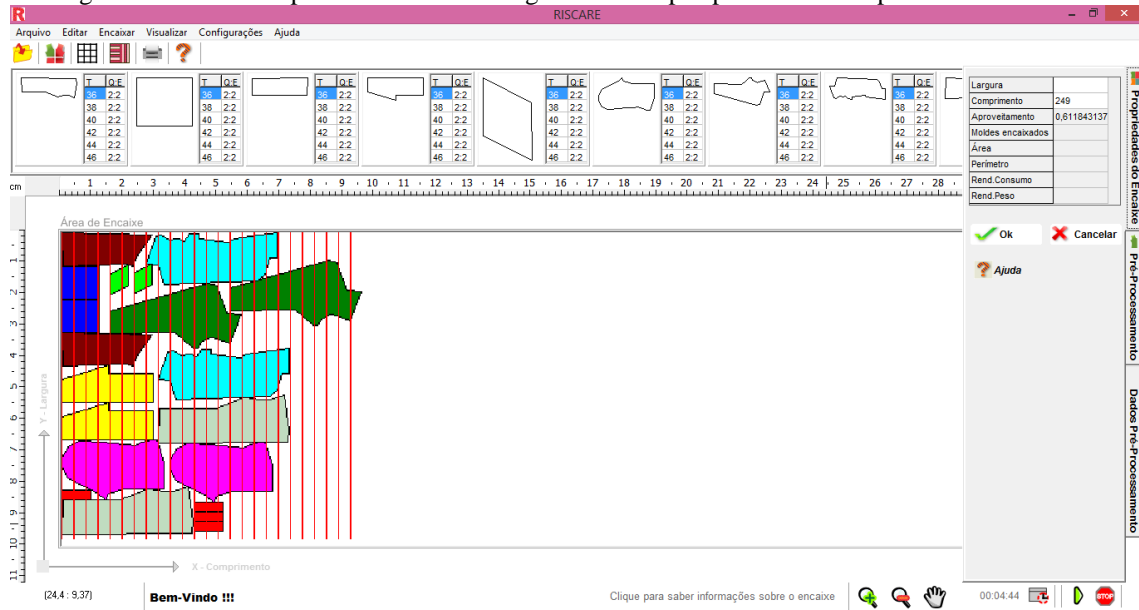
Fonte: a Autora

Figura 127 - Encaixe problema Dagli com algoritmo com pré-processamento para listra vertical



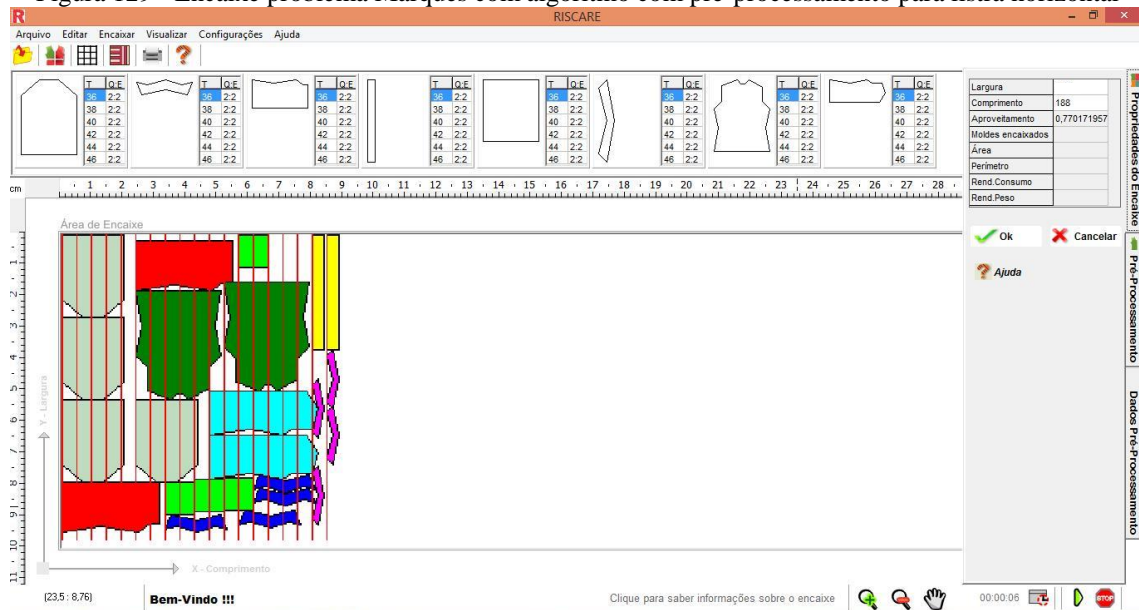
Fonte: a Autora

Figura 128 - Encaixe problema Mao com algoritmo com pré-processamento para listra horizontal



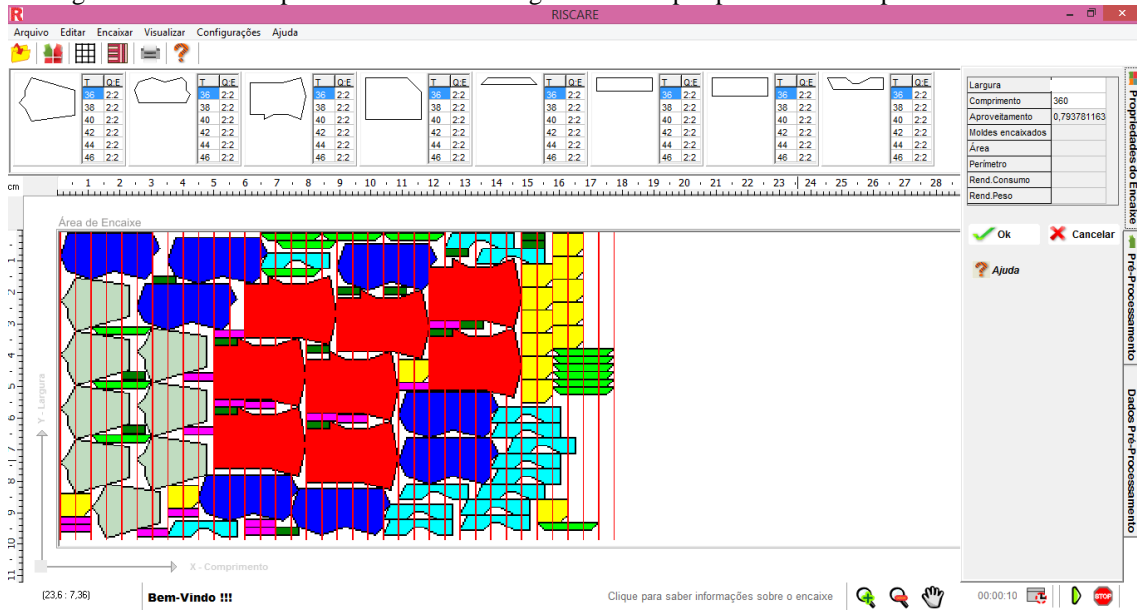
Fonte: a Autora

Figura 129 - Encaixe problema Marques com algoritmo com pré-processamento para listra horizontal



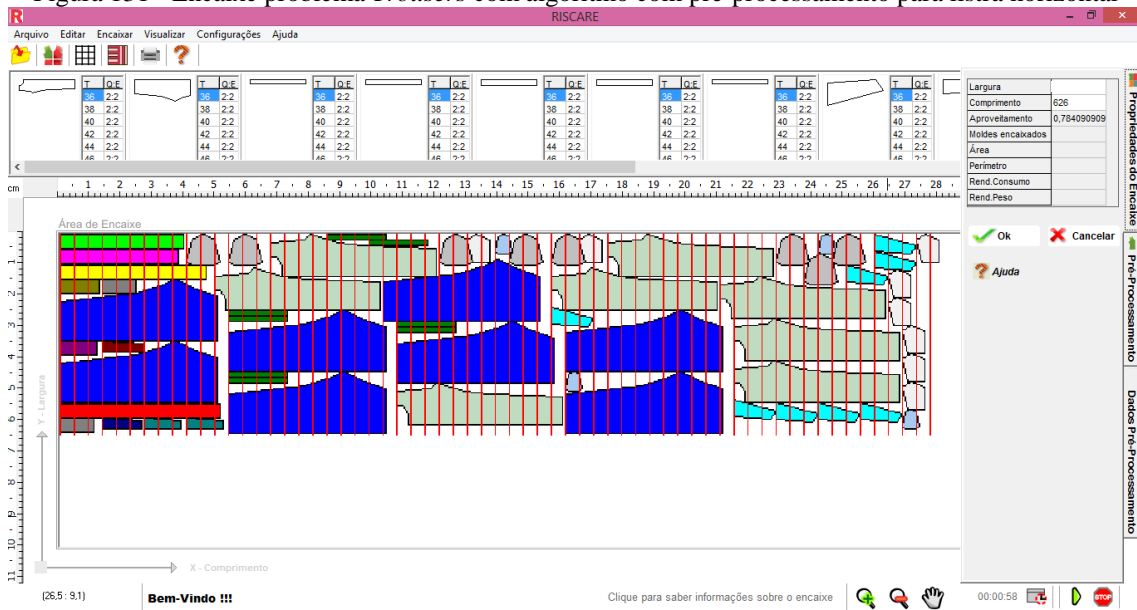
Fonte: a Autora

Figura 130 - Encaixe problema *Shirts* com algoritmo com pré-processamento para listra horizontal



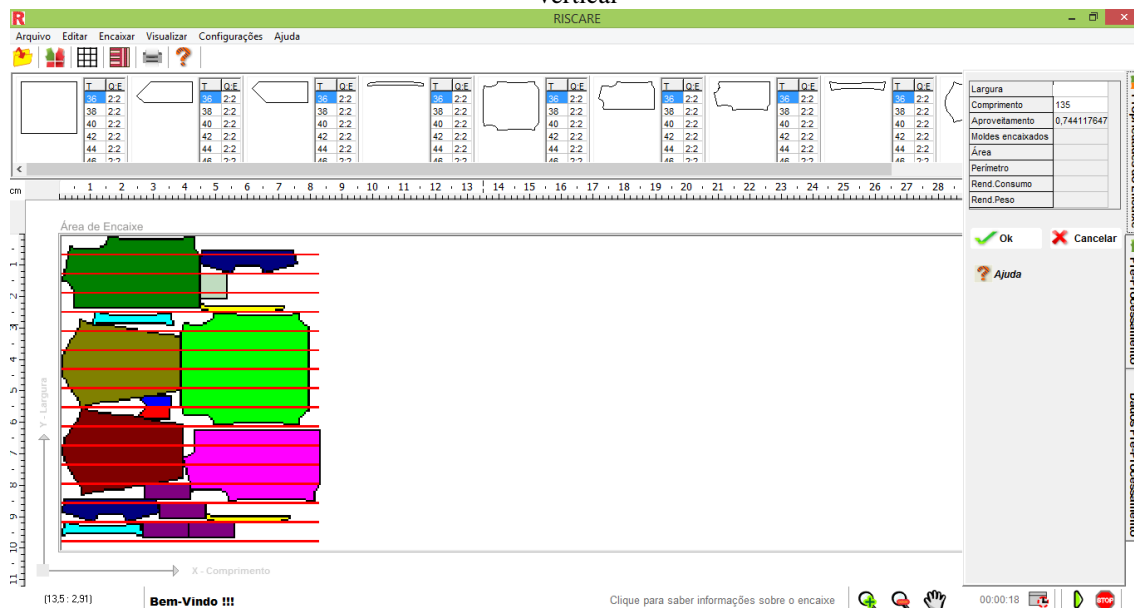
Fonte: a Autora

Figura 131 - Encaixe problema *Trousers* com algoritmo com pré-processamento para listra horizontal



Fonte: a Autora

Figura 132 - Encaixe problema Camisa masculina com algoritmo com pré-processamento para listra vertical



Fonte: a Autora

10.2 ENCAIXE DOS MOLDES USANDO O ALGORITMO DE BUSCA DO MELHOR ENCAIXE

Para o algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings estabeleceram-se três grupos de manipulação para as fases de *Burn-in* e Iterações. Assim, foram definidos: *Burn-in* = 50 e Iterações = 200 (Grupo 1); *Burn-in* = 500 e Iterações = 2.000 (Grupo 2) e *Burn-in* = 1.000 e Iterações = 4.000 (Grupo 3). Os mesmos problemas apresentados no subcapítulo anterior foram testados para listras verticais e horizontais com módulos de uma única largura de listra e diferentes larguras de listra. Para todos os testes o tamanho do módulo foi definido em 10 unidades. São apresentadas 4 tabelas que contemplam os resultados obtidos nas combinações entre listras verticais e horizontais com módulos com uma única largura de listra e módulos com diferentes larguras de listra. Todos os problemas foram executados 4 vezes.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para listras verticais com módulo de uma única largura de listra. A primeira coluna apresenta os problemas de encaixe. A segunda coluna e suas subdivisões mostram as melhores eficiências (Me), em percentual, encontradas com o tempo de processamento em segundos (T), a média das eficiências (Md) com a média do tempo e a pior eficiência (Pe) com o tempo de

processamento para a fase de *Burn-in* = 50 e Iterações = 200. A terceira e quarta colunas e suas subdivisões apresentam as mesmas informações da segunda, porém para as fases de *Burn-in* = 500 e Iterações = 2.000 e *Burn-in* = 1.000 e Iterações = 4.000, respectivamente. A melhor eficiência encontrada entre os três grupos de manipulação das fases de *Burn-in* e Iterações está destacada em negrito, a melhor média das eficiências está sublinhada e a pior eficiência está sublinhada com linha tracejada.

A Tabela 6 mostra os resultados alcançados para listras horizontais com módulo de uma única largura de listra. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos para listras verticais com módulo com diferentes larguras de listra. A Tabela 8 apresenta os resultados alcançados para listras horizontais com módulo de diferentes larguras de listra. A divisão das Tabelas 6, 7 e 8 é igual à divisão descrita para a Tabela 5.

Tabela 5 - Encaixes realizados no Riscare Listrado utilizando o algoritmo de busca do melhor encaixe para módulo com listra **vertical** de **uma única largura de listra**

Problema	Burn-in = 50 Iterações = 200						Burn-in = 500 Iterações = 2.000						Burn-in = 1.000 Iterações = 4.000					
	Me (%)	T (s)	Md (%)	T (s)	Pe (%)	T (s)	Me (%)	T (s)	Md (%)	T (s)	Pe (%)	T (s)	Me (%)	T (s)	Md (%)	T (s)	Pe (%)	T (s)
Albano	79,34	66	77,00	67	<u>75,40</u>	67	78,91	676	78,32	700	76,87	722	79,28	1359	<u>78,72</u>	1364	78,18	1326
Dagli	75,40	74	73,21	74	<u>71,02</u>	75	75,99	752	74,86	756	73,98	757	75,40	1580	<u>75,04</u>	1593	74,46	1482
Mao	70,84	86	69,10	81	<u>67,79</u>	81	71,00	829	70,71	835	70,30	836	71,96	1658	<u>70,93</u>	1725	70,34	1706
Marques	78,21	64	77,44	64	<u>76,01</u>	65	79,33	685	78,30	688	77,46	684	81,57	1388	<u>80,02</u>	1371	78,41	1370
Shirts	77,40	148	76,85	147	<u>76,53</u>	152	77,67	1466	77,54	1483	77,45	1469	78,49	3440	<u>77,89</u>	3299	77,34	3114
Trousers	78,25	161	77,06	159	<u>75,95</u>	158	80,25	1620	<u>79,46</u>	1673	78,29	1632	79,74	3283	79,19	3524	78,83	3333
Camisa masculina	77,08	38	75,52	35	<u>74,50</u>	34	77,88	376	77,33	369	76,27	362	78,15	727	<u>77,90</u>	727	77,78	770

Fonte: a Autora

Tabela 6 - Encaixes realizados no Riscare Listrado utilizando o algoritmo de busca do melhor encaixe para módulo com listra **horizontal** de **uma única largura de listra**

Problema	Burn-in = 50 Iterações = 200						Burn-in = 500 Iterações = 2.000						Burn-in = 1.000 Iterações = 4.000					
	Me (%)	T (s)	Md (%)	T (s)	Pe (%)	T (s)	Me (%)	T (s)	Md (%)	T (s)	Pe (%)	T (s)	Me (%)	T (s)	Md (%)	T (s)	Pe (%)	T (s)
Albano	77,08	61	76,90	62	76,68	63	79,22	689	77,43	689	<u>76,53</u>	628	78,87	1255	<u>77,84</u>	1280	76,81	1267
Dagli	71,73	65	69,51	66	<u>68,83</u>	67	71,82	685	71,30	677	70,74	681	72,08	1363	<u>71,84</u>	1357	71,67	1351
Mao	71,25	75	69,26	74	<u>68,08</u>	75	72,97	760	<u>70,92</u>	764	69,72	765	71,27	1536	70,85	1533	69,70	1530
Marques	74,78	61	72,57	62	<u>71,18</u>	63	77,07	624	75,42	643	74,84	691	78,53	1252	<u>75,98</u>	1323	74,83	1417
Shirts	78,24	104	76,96	107	<u>76,54</u>	108	80,37	1131	<u>79,07</u>	1158	78,36	1132	78,76	2261	78,70	2274	78,70	2254
Trousers	77,75	133	77,14	135	<u>75,98</u>	137	79,42	1373	77,92	1441	77,41	1396	80,24	2795	<u>78,85</u>	2783	78,39	2783

Fonte: a Autora

Tabela 7 - Encaixes realizados no Riscare Listrado utilizando o algoritmo de busca do melhor encaixe para módulo com listra **vertical** com **diferentes larguras de listra**

Problema	Burn-in = 50 Iterações = 200						Burn-in = 500 Iterações = 2.000						Burn-in = 1.000 Iterações = 4.000					
	Me (%)	T (s)	Md (%)	T (s)	Pe (%)	T (s)	Me (%)	T (s)	Md (%)	T (s)	Pe (%)	T (s)	Me (%)	T (s)	Md (%)	T (s)	Pe (%)	T (s)
Albano	76,03	74	75,30	68	<u>74,54</u>	66	77,53	735	77,13	725	76,86	716	79,60	1401	<u>78,06</u>	1405	77,25	1436
Dagli	76,08	74	74,31	73	<u>72,43</u>	73	75,88	746	75,35	744	74,39	749	75,62	1884	<u>75,43</u>	1705	75,25	1807
Mao	70,20	80	68,55	80	<u>67,47</u>	81	72,21	835	71,31	824	70,23	825	73,19	1639	<u>72,31</u>	1642	70,56	1646
Marques	79,52	68	76,26	68	<u>74,56</u>	71	79,11	641	78,48	667	77,66	675	80,61	1287	<u>79,87</u>	1292	79,34	1287
Shirts	80,05	162	79,01	157	<u>78,37</u>	157	80,11	1644	79,43	1728	78,84	1695	80,41	2795	<u>80,05</u>	2883	79,74	2993
Trousers	77,56	159	76,60	155	<u>75,16</u>	156	80,12	1606	78,67	1596	77,77	1591	80,47	3189	<u>79,56</u>	3315	78,37	3433
Camisa masculina	77,74	34	76,71	33	<u>75,14</u>	34	78,26	351	77,88	354	77,32	346	78,65	674	<u>78,07</u>	682	77,53	687

Fonte: a Autora

Tabela 8 - Encaixes realizados no Riscare Listrado utilizando o algoritmo de busca do melhor encaixe para módulo com listra **horizontal** com **diferentes larguras de listra**

Problema	Burn-in = 50 Iterações = 200						Burn-in = 500 Iterações = 2.000						Burn-in = 1.000 Iterações = 4.000					
	Me (%)	T (s)	Md (%)	T (s)	Pe (%)	T (s)	Me (%)	T (s)	Md (%)	T (s)	Pe (%)	T (s)	Me (%)	T (s)	Md (%)	T (s)	Pe (%)	T (s)
Albano	80,31	66	77,52	64	<u>75,67</u>	66	78,72	639	78,29	644	78,06	654	80,40	1270	<u>79,76</u>	1269	78,40	1270
Dagli	72,08	69	70,46	68	<u>69,47</u>	70	73,29	698	72,04	732	70,37	708	73,44	1408	<u>73,20</u>	1483	72,57	1522
Mao	69,70	75	69,18	76	<u>67,73</u>	77	69,78	765	69,76	770	69,75	773	73,04	1544	<u>71,65</u>	1555	69,75	1533
Marques	76,75	61	75,18	61	<u>72,90</u>	61	77,18	609	76,81	629	76,64	614	78,92	1366	<u>77,37</u>	1269	76,84	1229
Shirts	79,31	105	78,28	106	<u>77,48</u>	106	79,71	1108	<u>79,57</u>	1138	79,46	1109	79,65	2322	79,27	2485	78,41	2610
Trousers	78,89	135	77,45	132	<u>76,23</u>	129	79,95	1470	78,88	1390	77,94	1368	80,38	3098	<u>79,39</u>	2903	78,26	2972

Fonte: a Autora

As Figuras 133, 137, 141, 145, 149, 153 e 157 mostram o encaixe no Riscare Listrado dos problemas da Tabela 5 que apresentaram melhor eficiência. Nas figuras é possível verificar as informações do comprimento, eficiência (Aproveitamento) e o tempo de processamento.

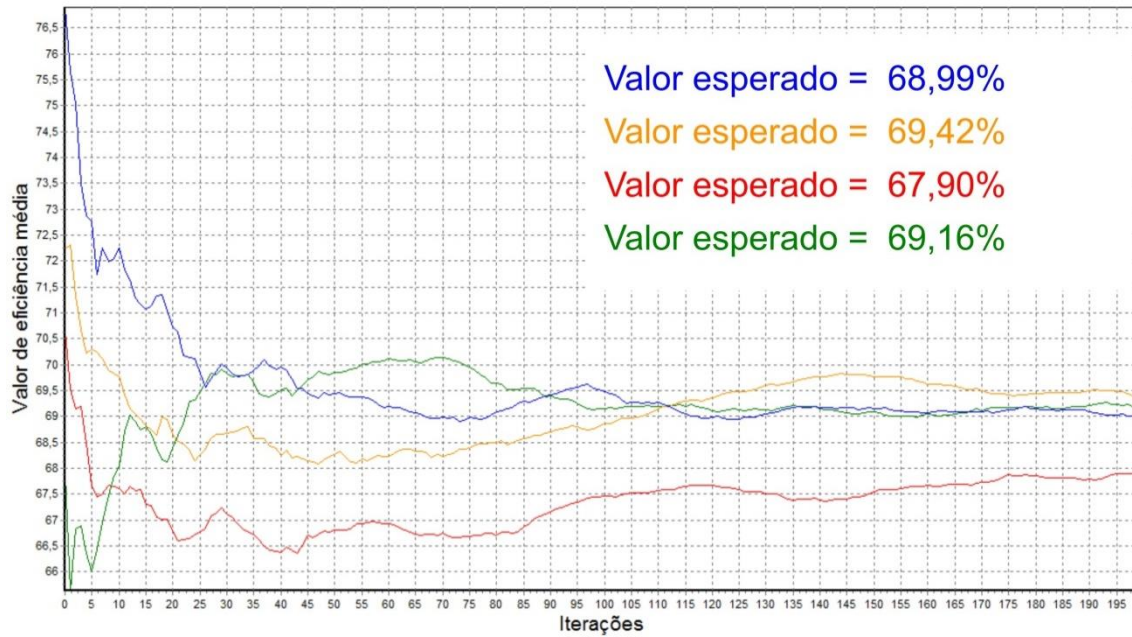
Figura 133 – Encaixe no Riscare Listrado do problema Albano para módulo com listra vertical e uma única largura de listra



Fonte: a Autora

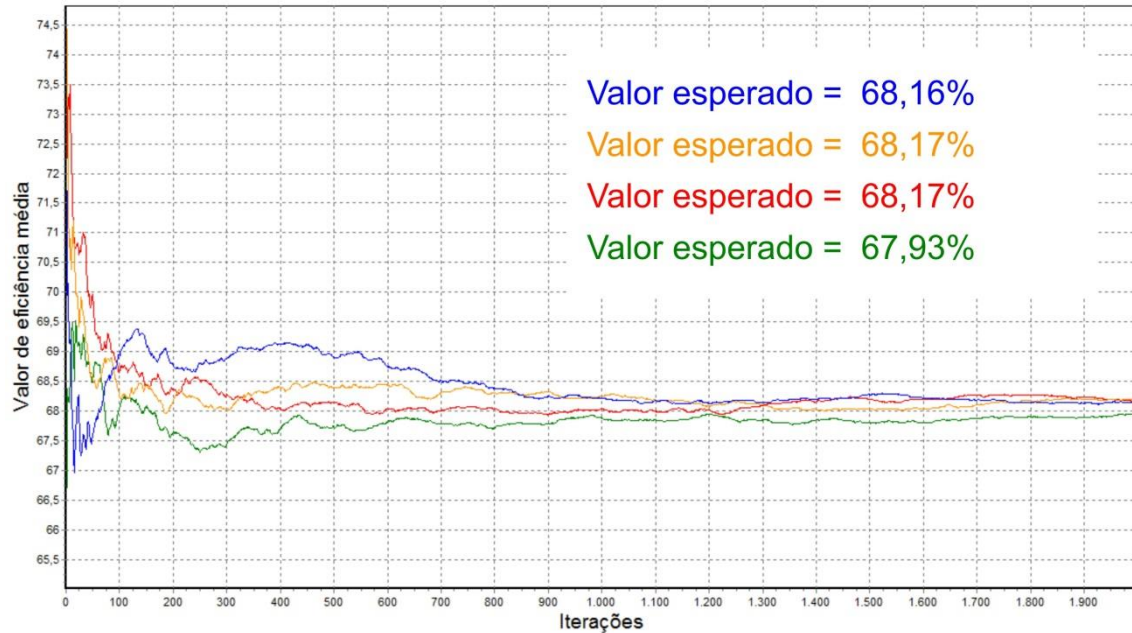
As três figuras que estão abaixo das imagens dos encaixes mostram os gráficos do valor de eficiência média para os três grupos de manipulação das fases de *Burn-in* e Iterações. Para o problema de encaixe Albano (fig. 133), a Figura 134 apresenta o valor de eficiência média para *Burn-in* 50 e Iterações 200 (Grupo 1). A Figura 135 exibe o valor de eficiência média para *Burn-in* 500 e Iterações 2.000 (Grupo 2), enquanto a Figura 136 mostra o valor de eficiência média para *Burn-in* 1.000 e Iterações 4.000 (Grupo 3). Como cada problema foi rodado quatro vezes, os gráficos apresentam quatro curvas representativas, identificadas pelas cores: azul, ocre, vermelho e verde. Para cada cor também é mostrado o valor esperado para o problema ao final da execução do algoritmo. Através dos gráficos é possível perceber os pontos de convergência para os diferentes problemas. As Figuras 138, 139, 140, 142, 143, 144, 146, 147, 148, 150, 151, 152, 154, 155, 156, 158, 159 e 160, revelam para cada um dos problemas de encaixe, respectivamente, o comportamento do algoritmo nos três grupos de manipulação das fases de *Burn-in* e Iterações.

Figura 134 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 50 e Iterações = 200 para o problema Albano com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



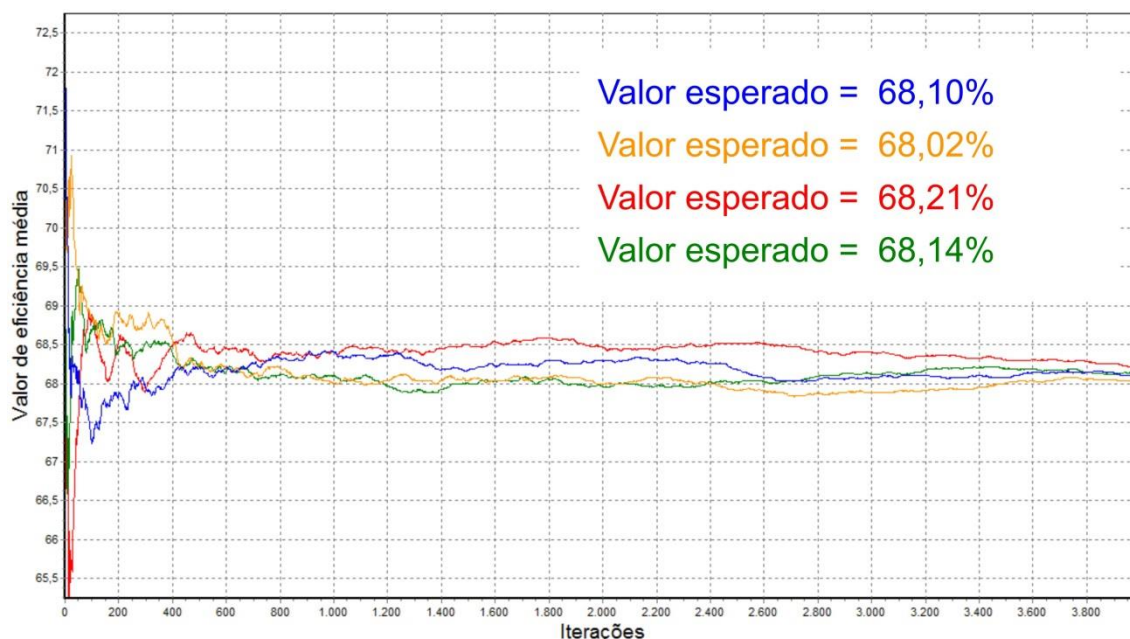
Fonte: a Autora

Figura 135 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 500 e Iterações = 2.000 para o problema Albano com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



Fonte: a Autora

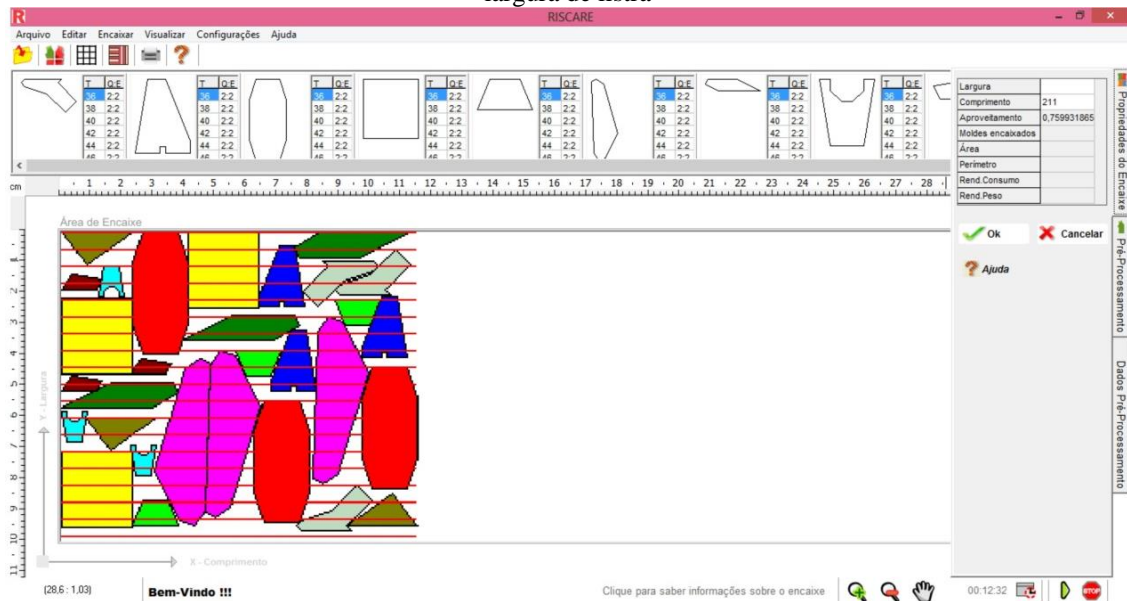
Figura 136 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 1.000 e Iterações = 4.000 para o problema Albano com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



Fonte: a Autora

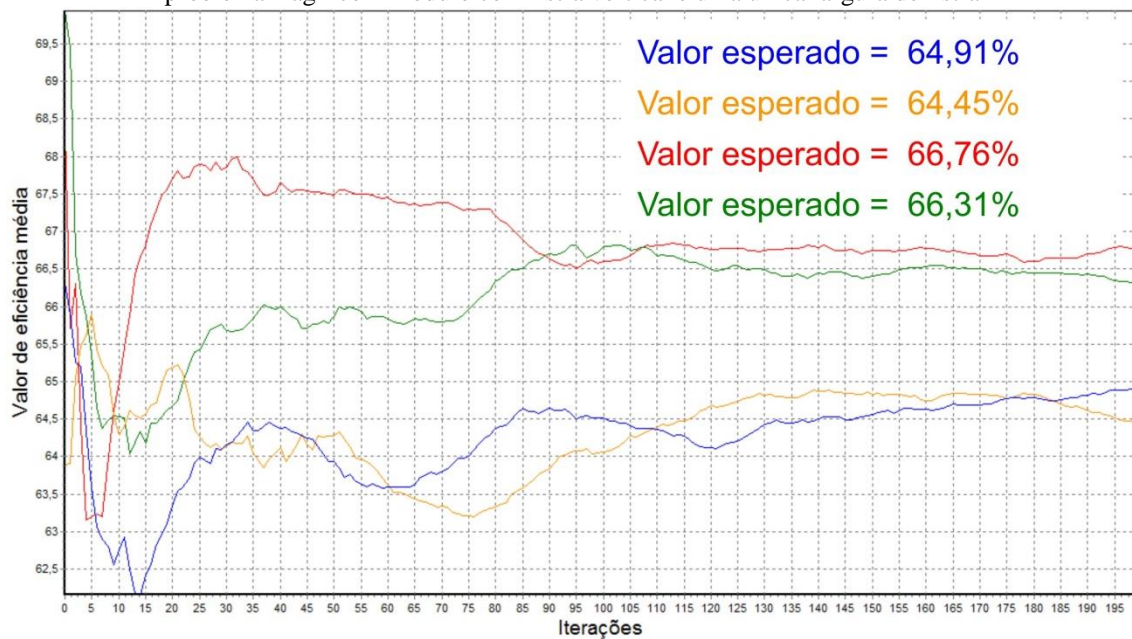
Comparando os gráficos das Figuras 134, 135 e 136 observa-se que, ao aumentar o número de iterações, os valores de eficiência média vão ficando cada vez mais parecidos. Quando os valores de eficiência média tornam-se muito semelhantes há a convergência da cadeia. Após a convergência da cadeia, o aumento no número de iterações não muda significativamente a diferença entre os valores de eficiência média. Ao final das iterações obtêm-se o valor esperado de eficiência, calculado pela Equação 2 mostrada no subcapítulo 3.5. A convergência e a estabilidade entre as diferentes execuções do algoritmo são a principal característica das Cadeias de Markov Monte Carlo. Apesar da quantidade de iterações após a convergência da cadeia não alterar significativamente o valor esperado de eficiência, o mesmo não é verdadeiro para a busca do encaixe com a melhor eficiência. O aumento no número de iterações permite uma maior possibilidade de encontrar melhores eficiências. Porém, isso nem sempre ocorre, como pode ser observado nas Tabelas 5, 6, 7 e 8. Quando o aumento do número de iterações consegue uma melhor eficiência, a variação na diferença entre os valores encontrados após a convergência da cadeia tende a ser pequena. Essas diferenças entre os valores das eficiências encontradas com diferentes quantidades de iterações são analisadas no subcapítulo 10.3.

Figura 137 – Encaixe no Riscare Listrado do problema Dagli para módulo com listra vertical e uma única largura de listra



Fonte: a Autora

Figura 138 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 50 e Iterações = 200 para o problema Dagli com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



Fonte: a Autora

Figura 139 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 500 e Iterações = 2.000 para o problema Dagli com módulo com listra vertical e uma única largura de listra

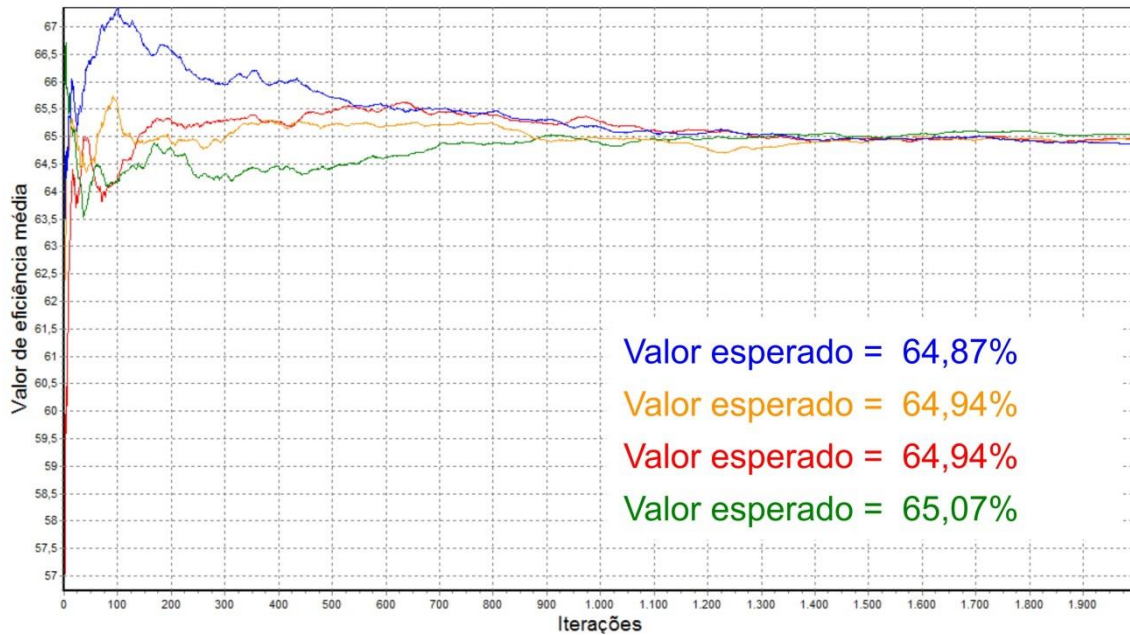


Figura 140 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 1.000 e Iterações = 4.000 para o problema Dagli com módulo com listra vertical e uma única largura de listra

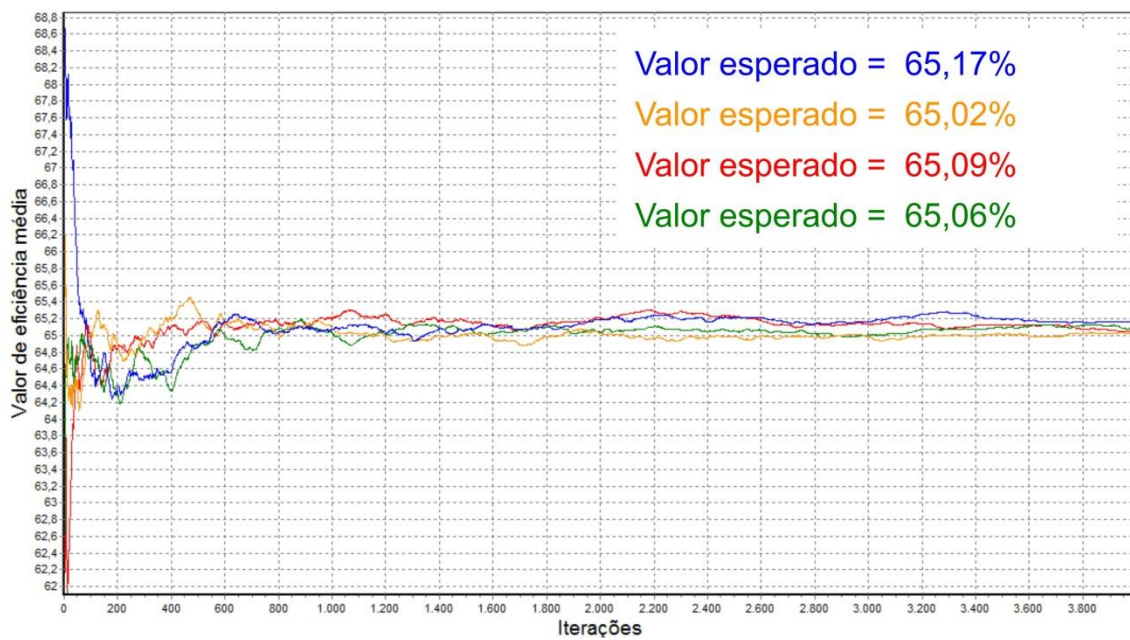
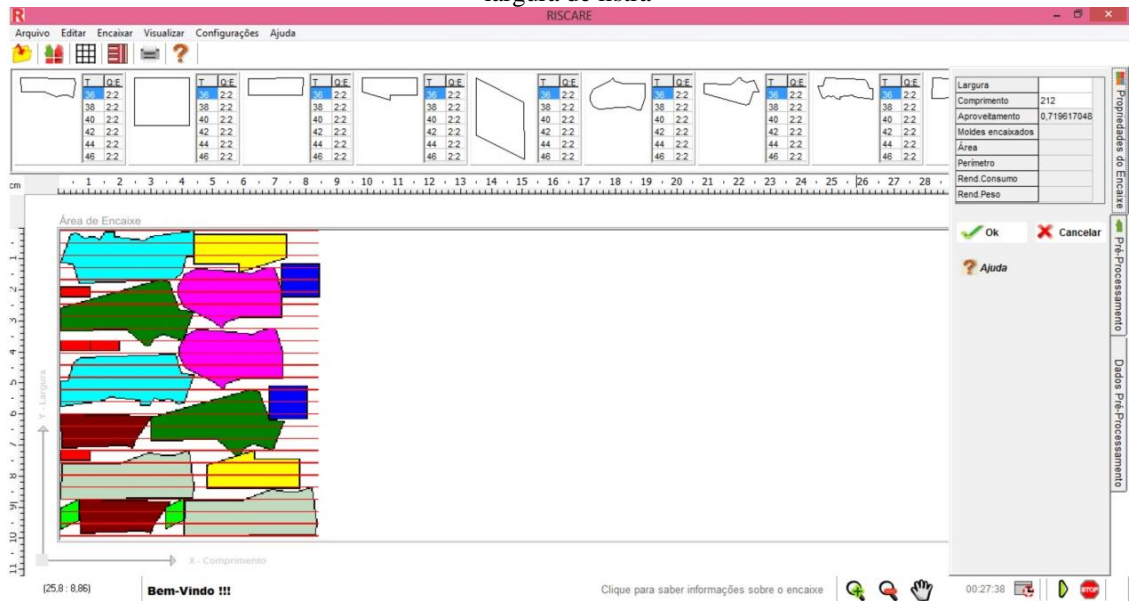
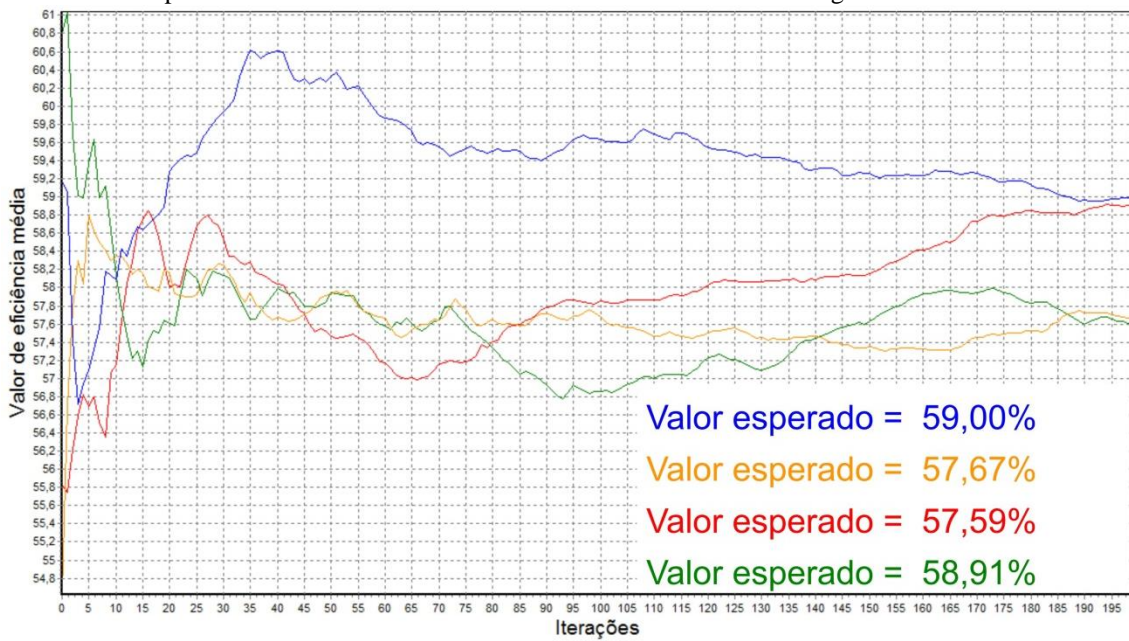


Figura 141 – Encaixe no Riscare Listrado do problema Mao para módulo com listra vertical e uma única largura de listra



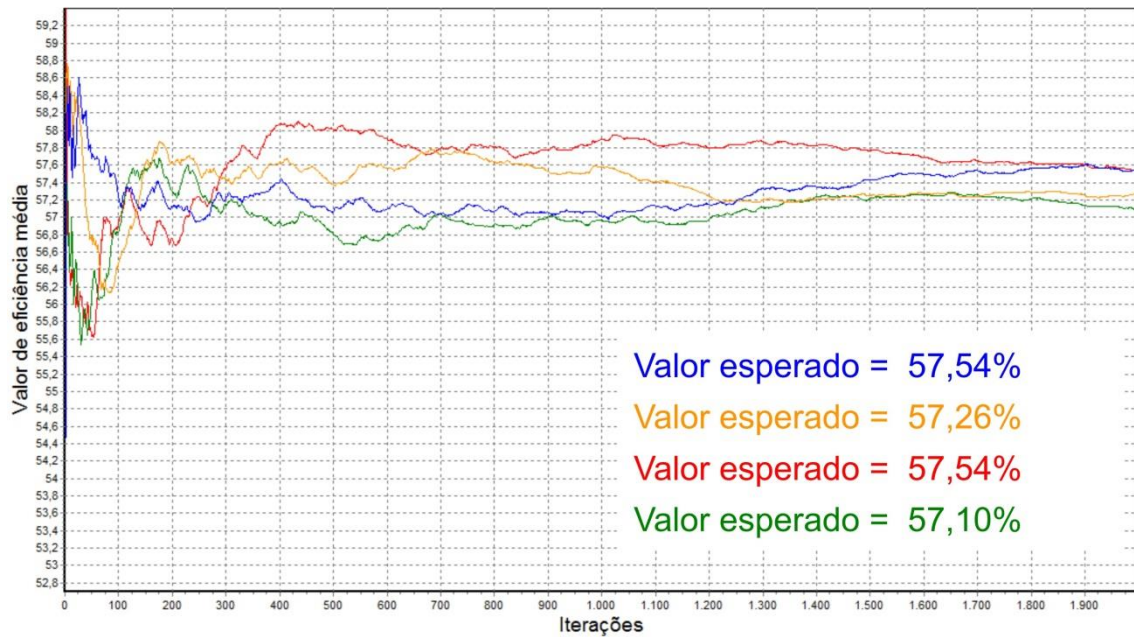
Fonte: a Autora

Figura 142 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 50 e Iterações = 200 para o problema Mao com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



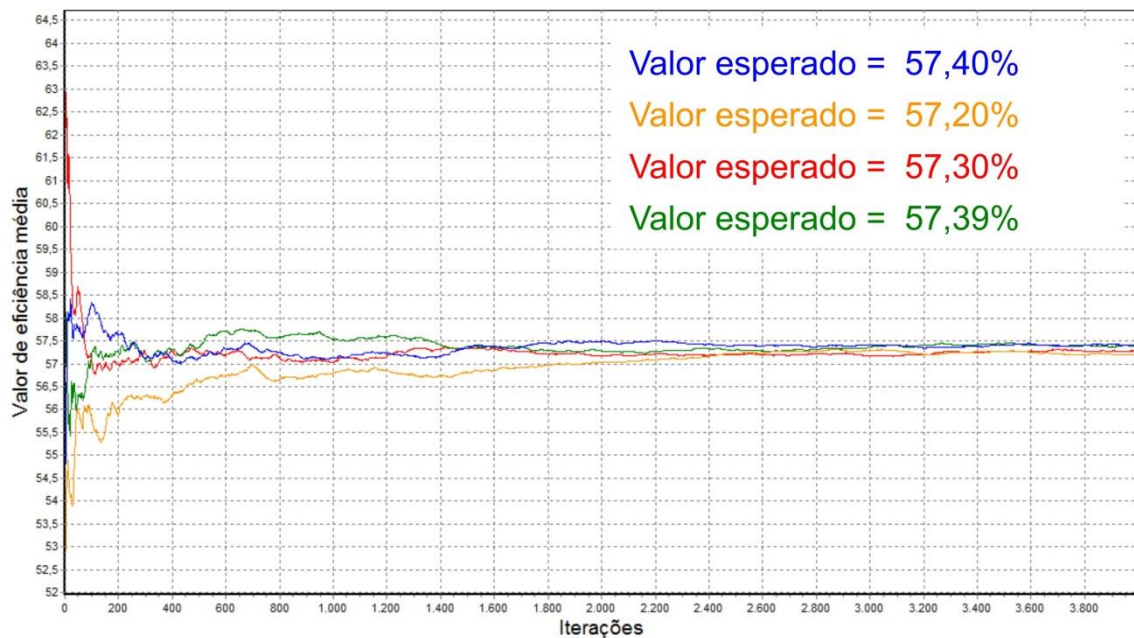
Fonte: a Autora

Figura 143 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 500 e Iterações = 2.000 para o problema Mao com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



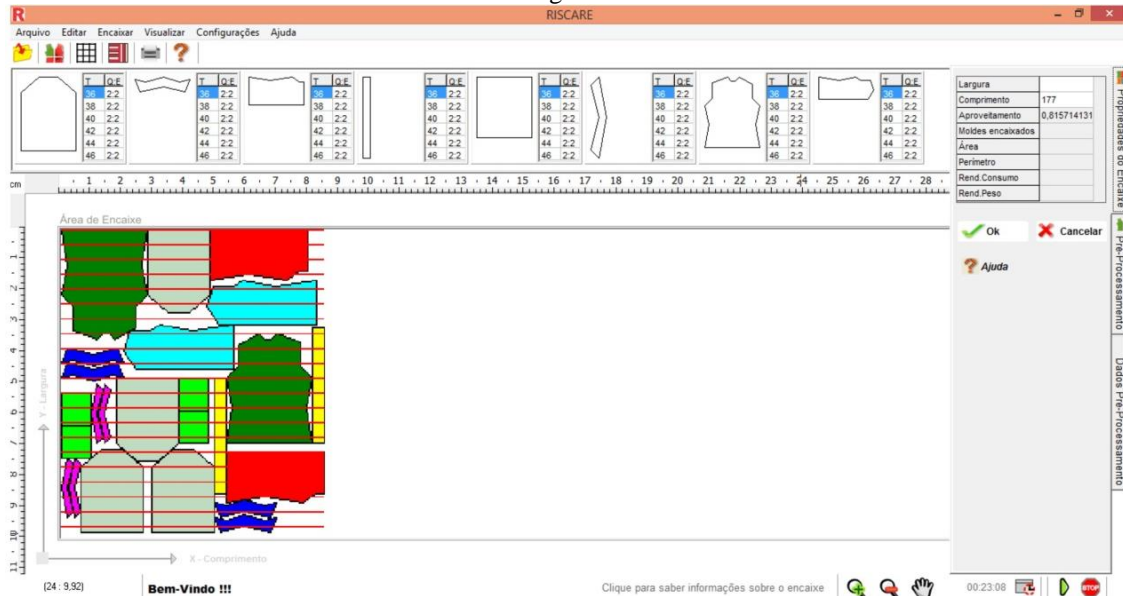
Fonte: a Autora

Figura 144 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 1.000 e Iterações = 4.000 para o problema Mao com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



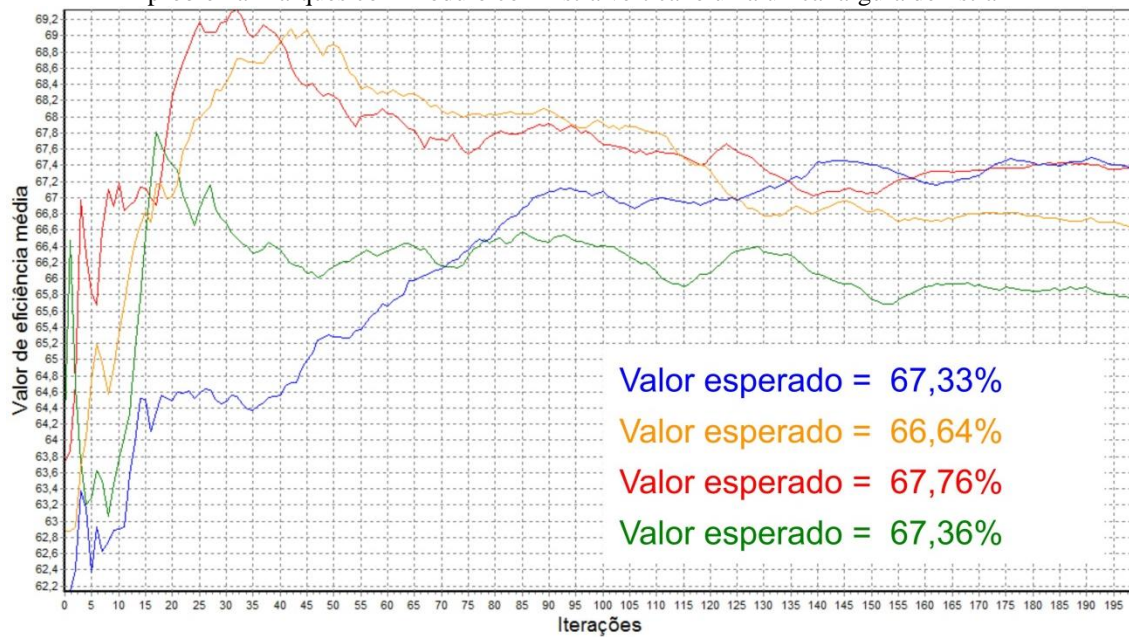
Fonte: a Autora

Figura 145 – Encaixe no Riscare Listrado do problema Marques para módulo com listra vertical e uma única largura de listra



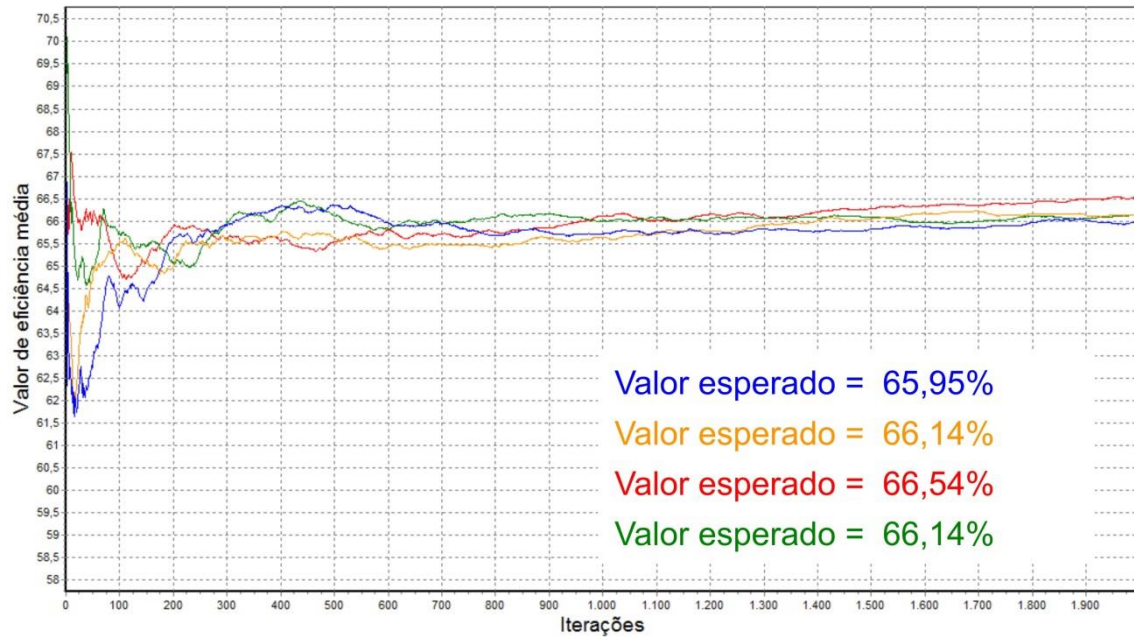
Fonte: a Autora

Figura 146 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 50 e Iterações = 200 para o problema Marques com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



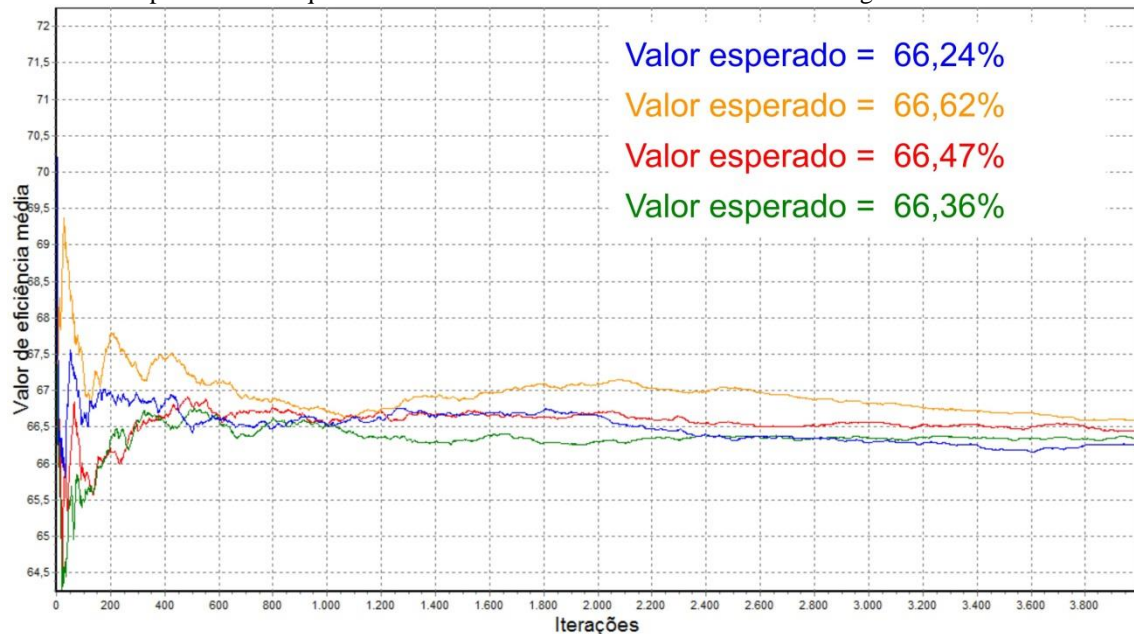
Fonte: a Autora

Figura 147 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 500 e Iterações = 2.000 para o problema Marques com módulo com lista vertical e uma única largura de lista



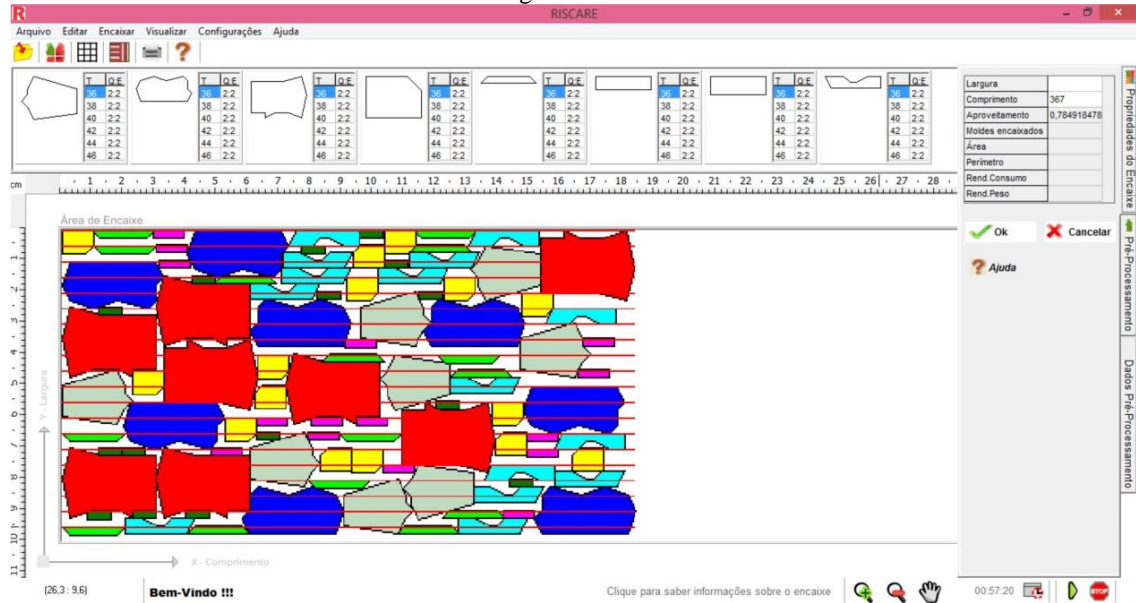
Fonte: a Autora

Figura 148 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 1.000 e Iterações = 4.000 para o problema Marques com módulo com lista vertical e uma única largura de lista



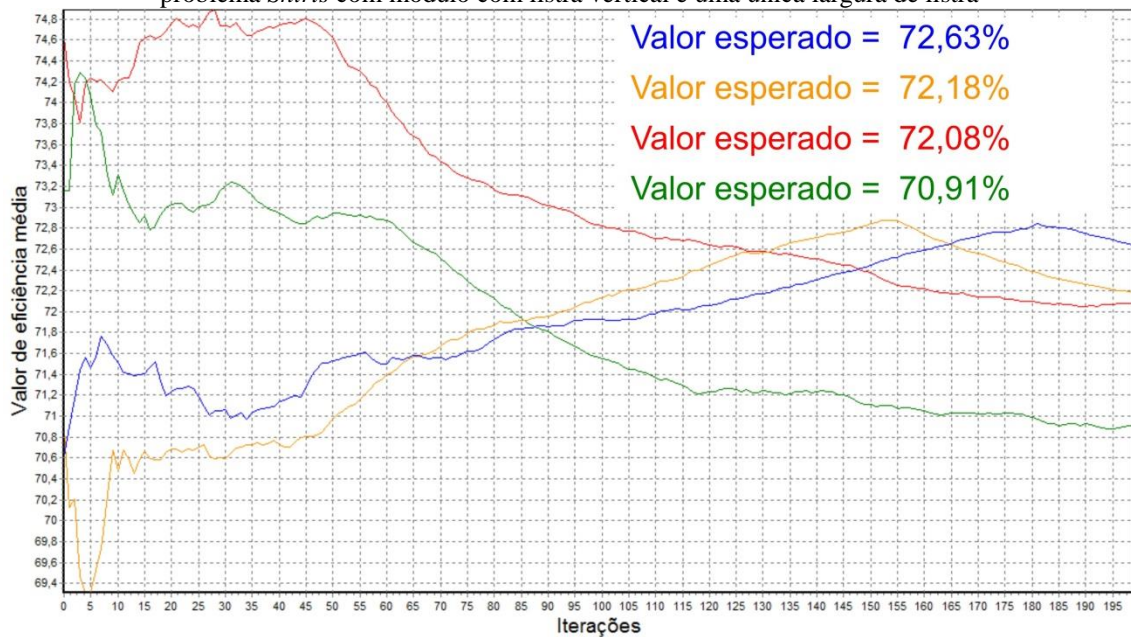
Fonte: a Autora

Figura 149 – Encaixe no Riscare Listrado do problema *Shirts* para módulo com listra vertical e uma única largura de listra



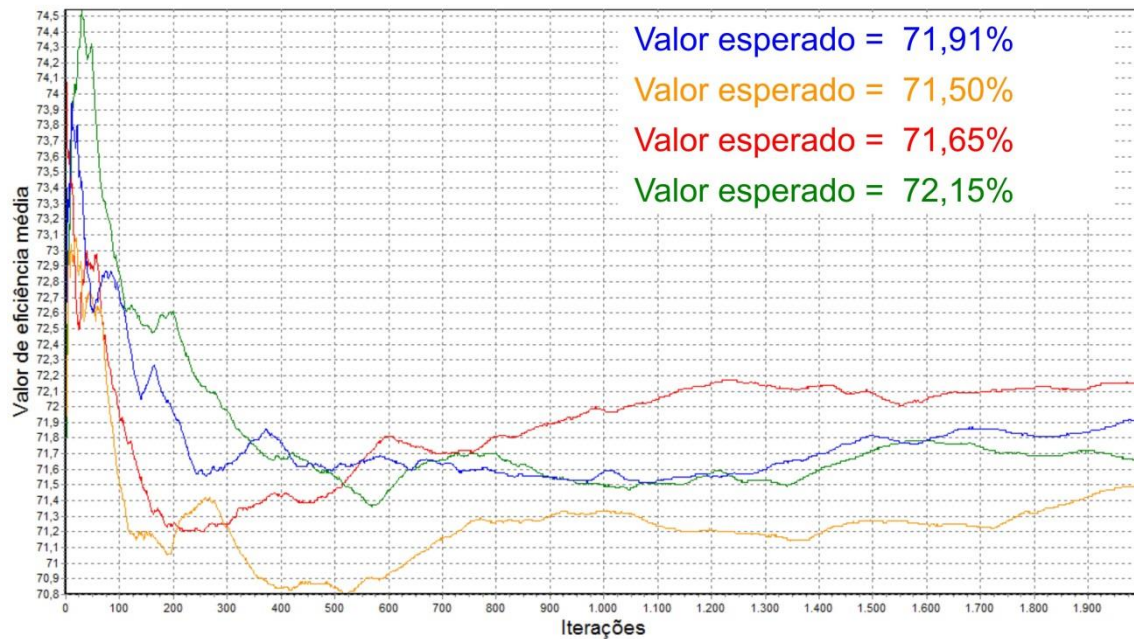
Fonte: a Autora

Figura 150 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 50 e Iterações = 200 para o problema *Shirts* com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



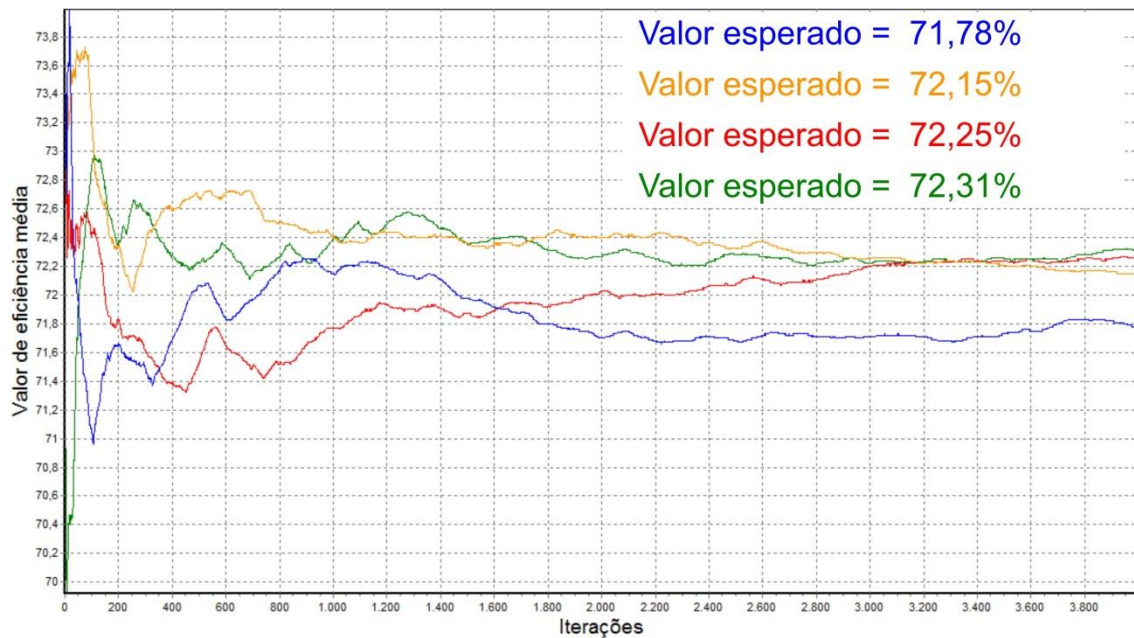
Fonte: a Autora

Figura 151 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 500 e Iterações = 2.000 para o problema *Shirts* com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



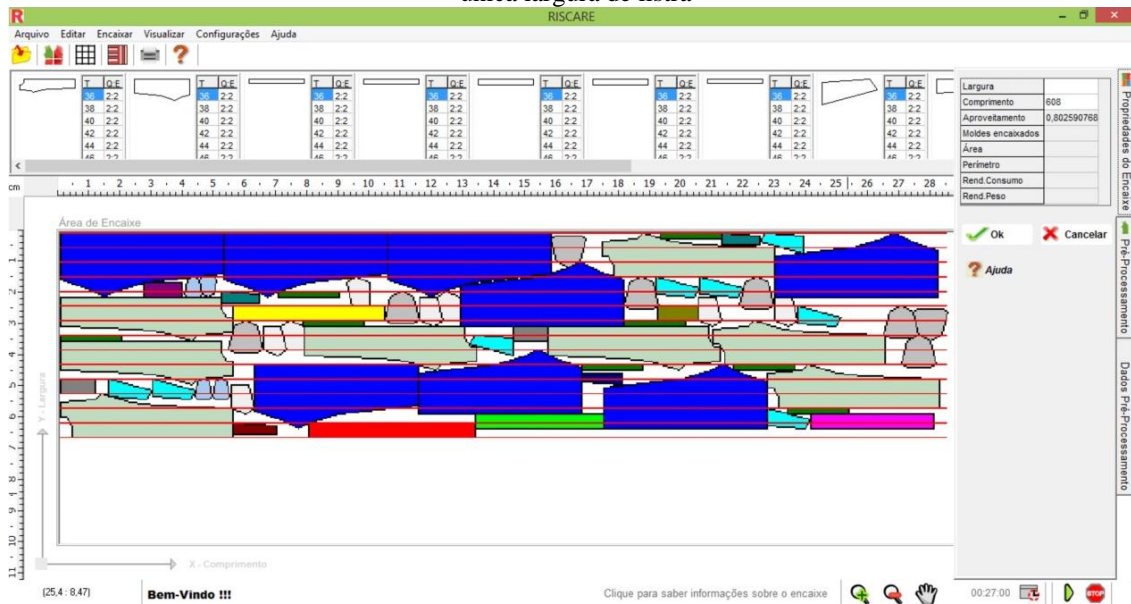
Fonte: a Autora

Figura 152 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 1.000 e Iterações = 4.000 para o problema *Shirts* com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



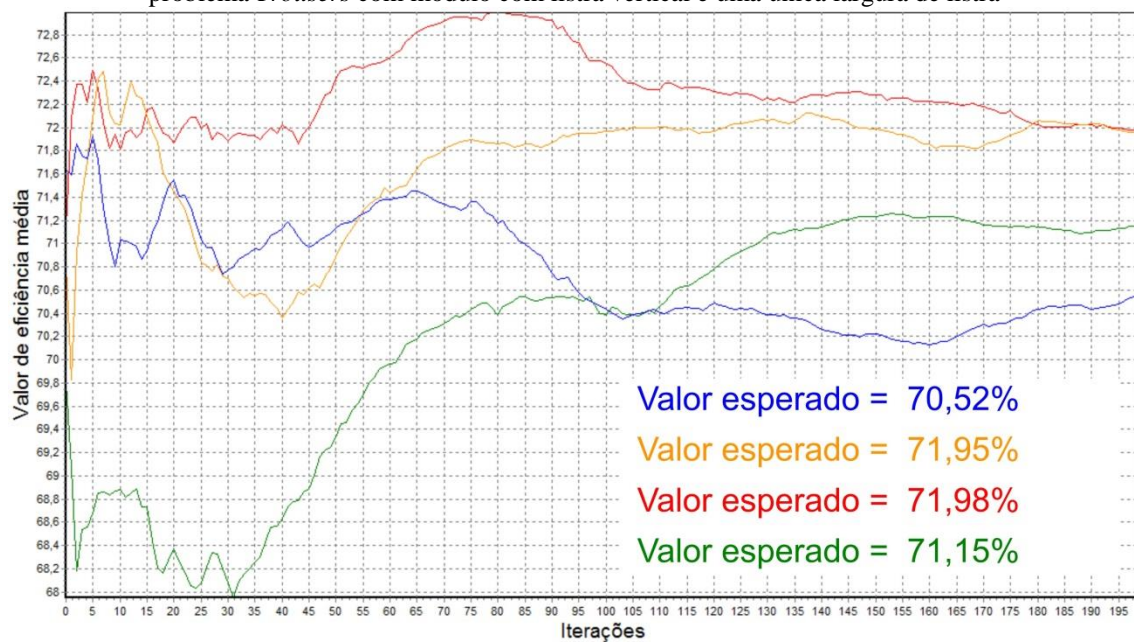
Fonte: a Autora

Figura 153 – Encaixe no Riscare Listrado do problema *Trousers* para módulo com listra vertical e uma única largura de listra



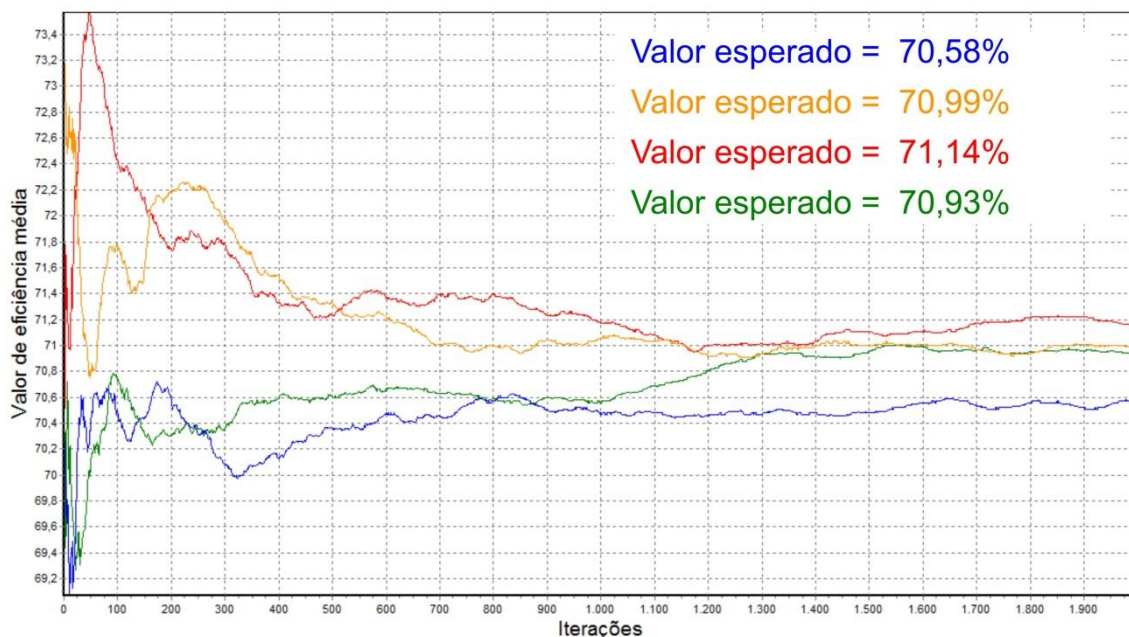
Fonte: a Autora

Figura 154 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 50 e Iterações = 200 para o problema *Trousers* com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



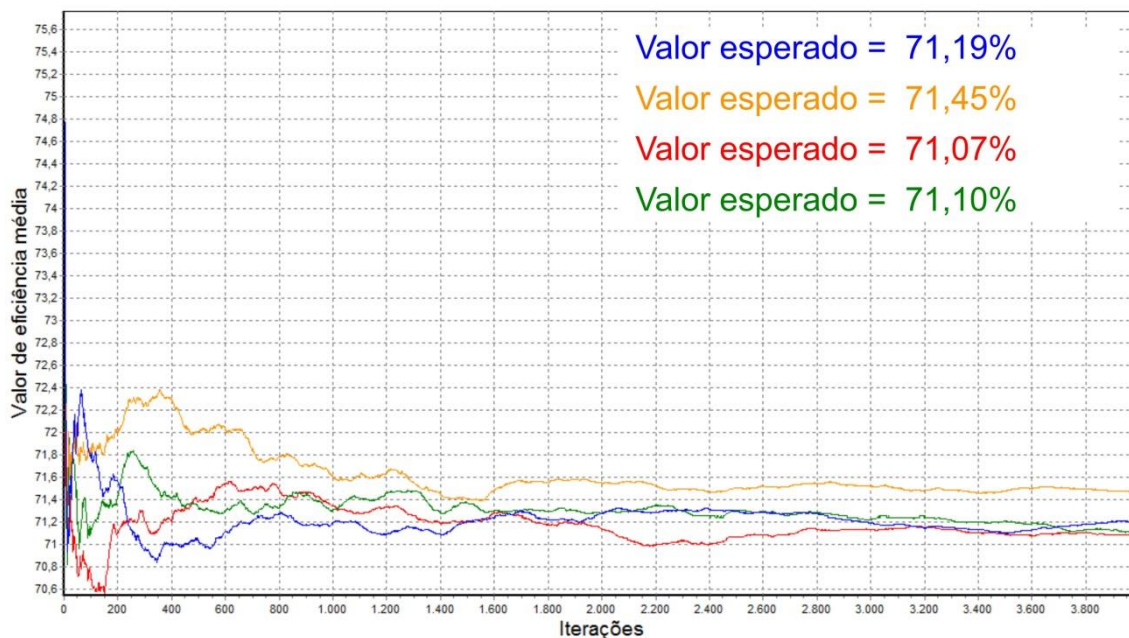
Fonte: a Autora

Figura 155 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 500 e Iterações = 2.000 para o problema *Trousers* com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



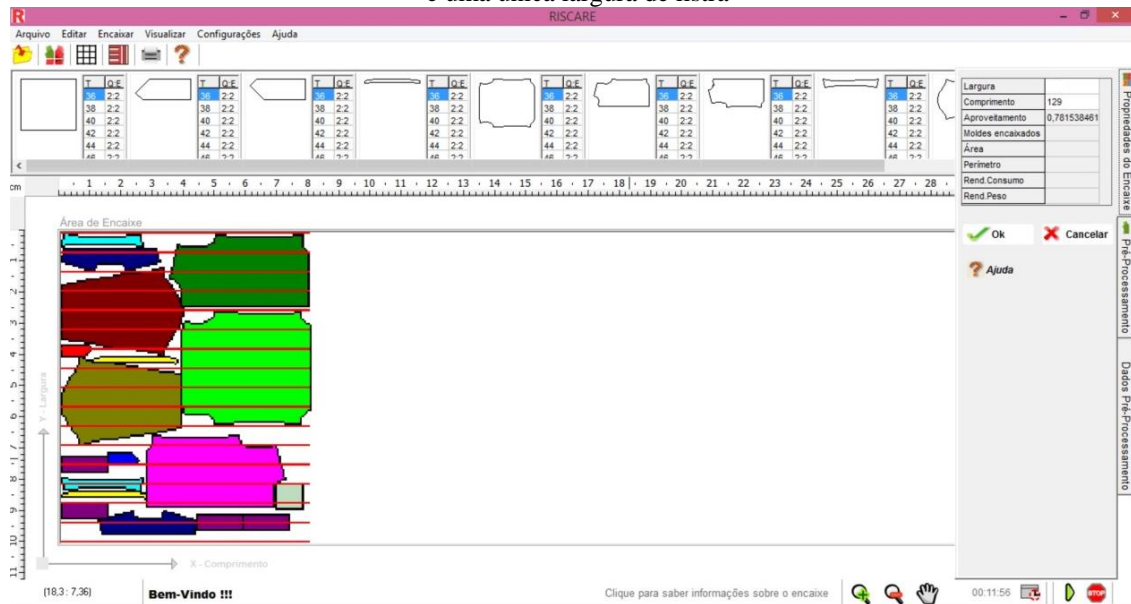
Fonte: a Autora

Figura 156 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 1.000 e Iterações = 4.000 para o problema *Trousers* com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



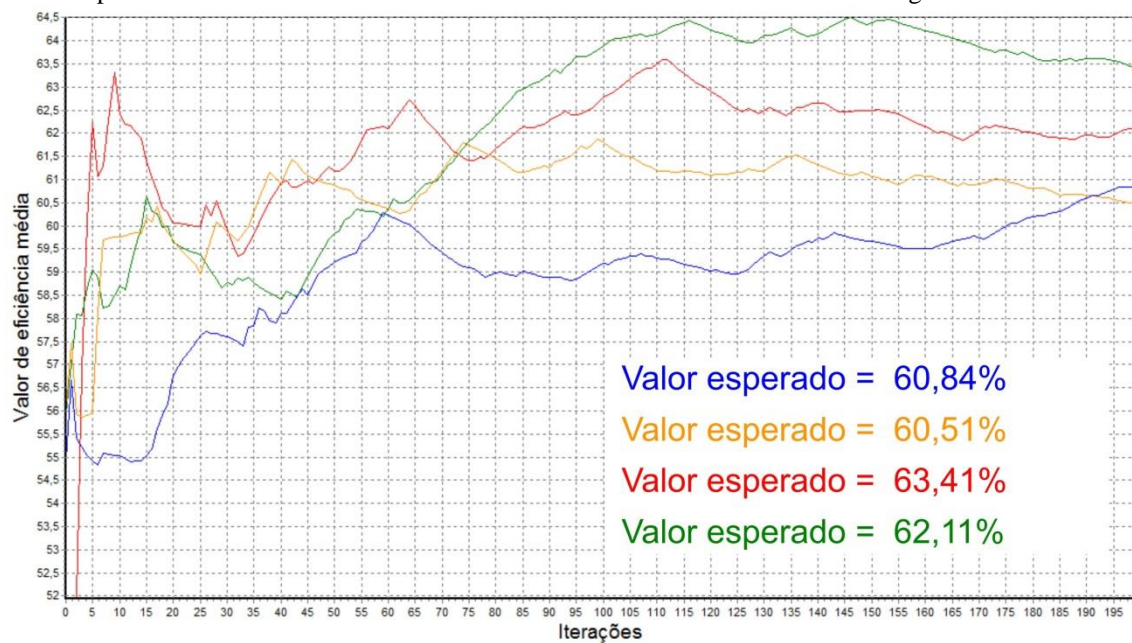
Fonte: a Autora

Figura 157 – Encaixe no Riscare Listrado do problema Camisa masculina para módulo com listra vertical e uma única largura de listra



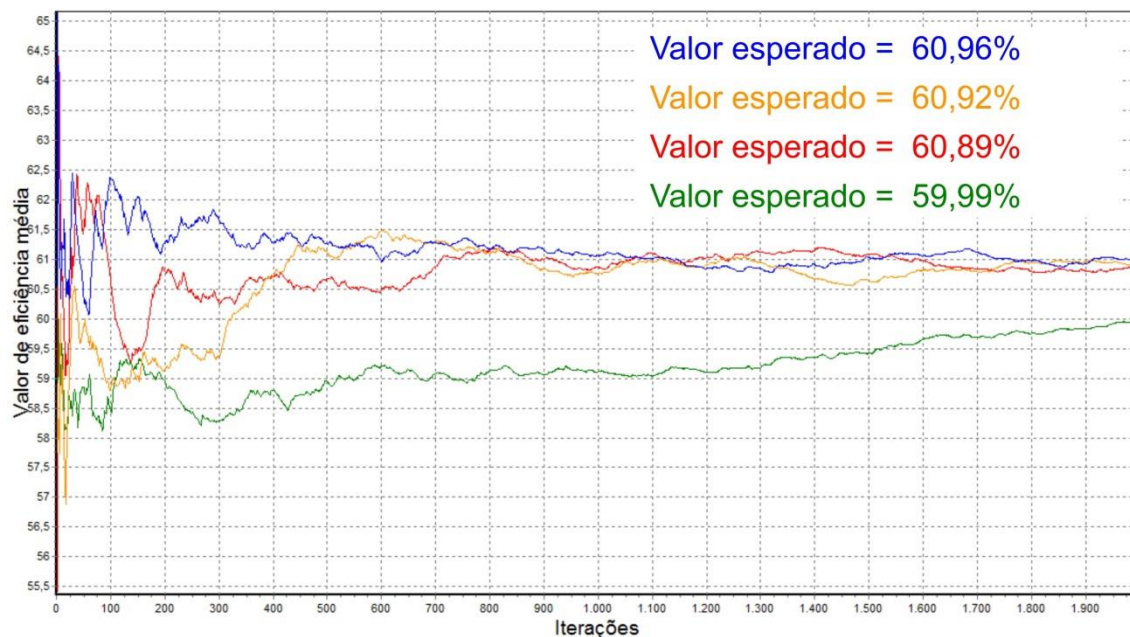
Fonte: a Autora

Figura 158 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 50 e Iterações = 200 para o problema Camisa masculina com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



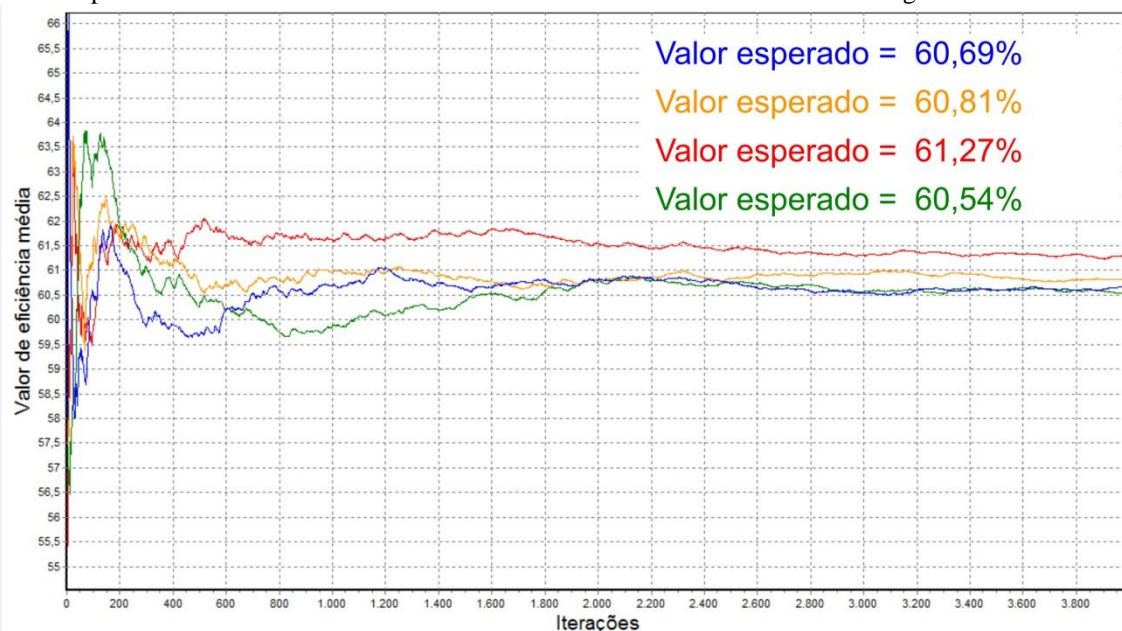
Fonte: a Autora

Figura 159 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 500 e Iterações = 2.000 para o problema Camisa masculina com módulo com listra vertical e uma única largura de listra



Fonte: a Autora

Figura 160 – Gráfico do valor de eficiência média das fases *Burn-in* = 1.000 e Iterações = 4.000 para o problema Camisa masculina com módulo com listra vertical e uma única largura de listra

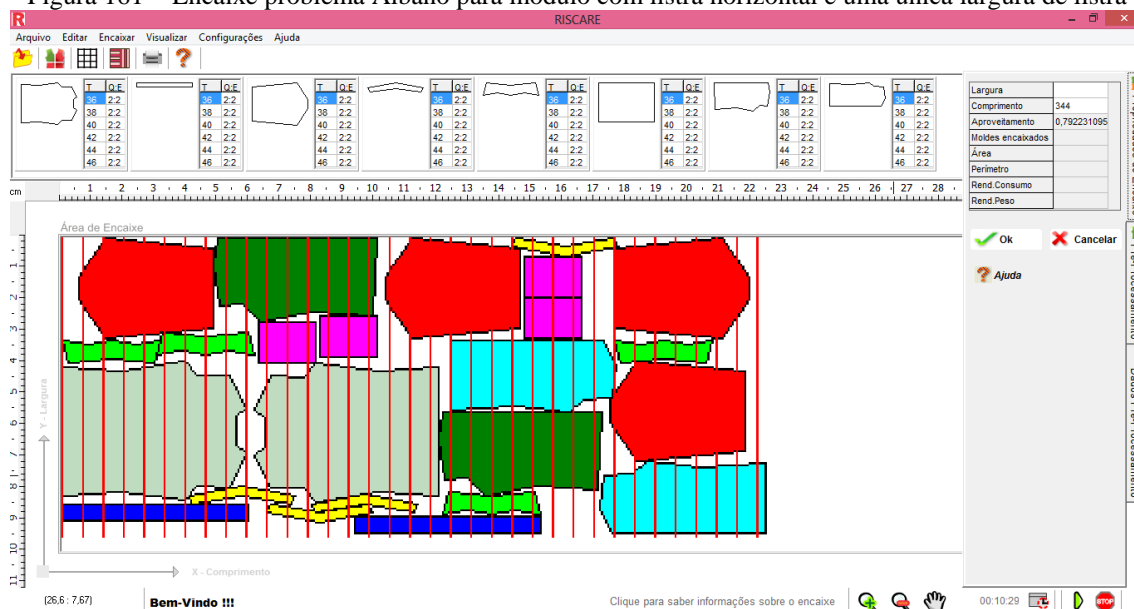


Fonte: a Autora

As Figuras 161, 162, 163, 164, 165 e 166 mostram o encaixe no Riscare Listrado dos problemas da Tabela 6 que apresentaram melhor eficiência. Para os problemas da Tabela 6 usou-se um módulo de listra horizontal com uma única largura de listra e

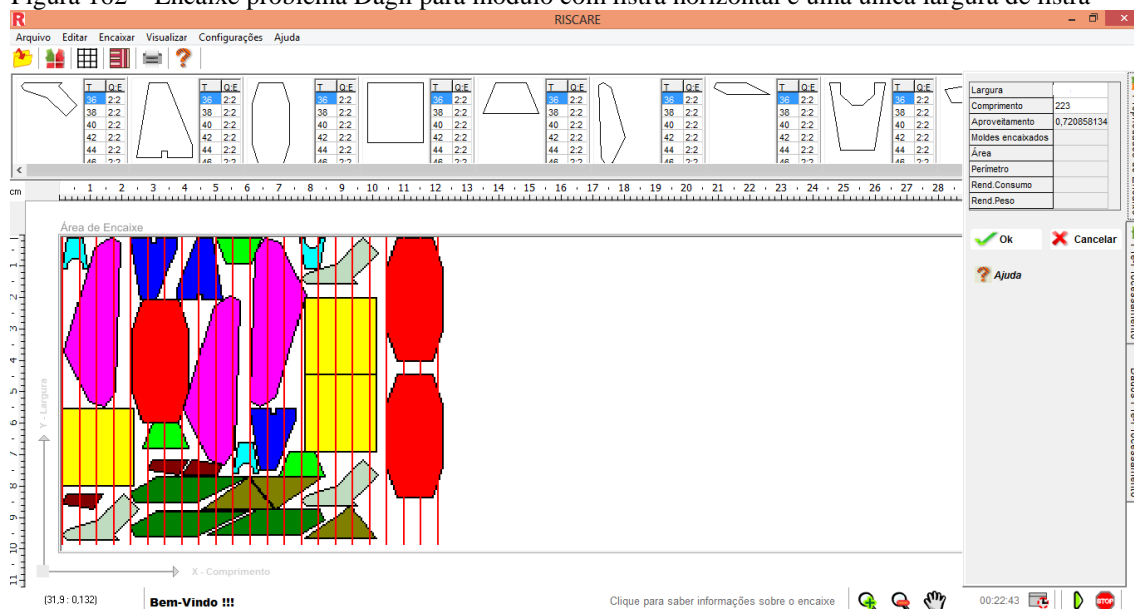
tamanho de 10 unidades. O problema da camisa masculina não foi executado para listras horizontais, uma vez que essa peça do vestuário é predominantemente confeccionada em tecidos com listras verticais.

Figura 161 – Encaixe problema Albano para módulo com listra horizontal e uma única largura de listra



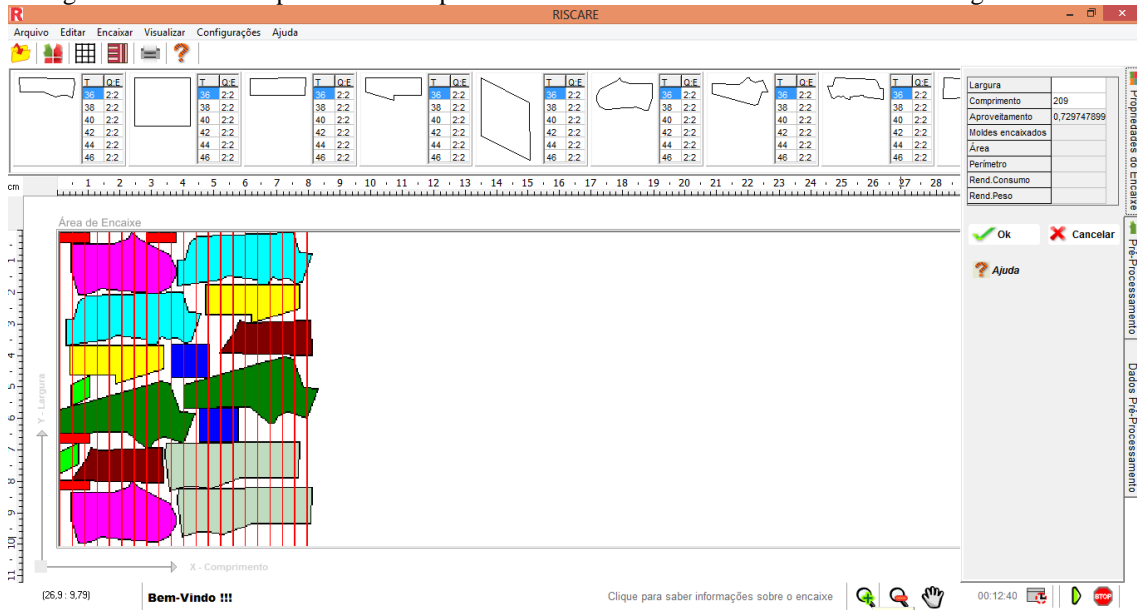
Fonte: a Autora

Figura 162 – Encaixe problema Dagli para módulo com listra horizontal e uma única largura de listra



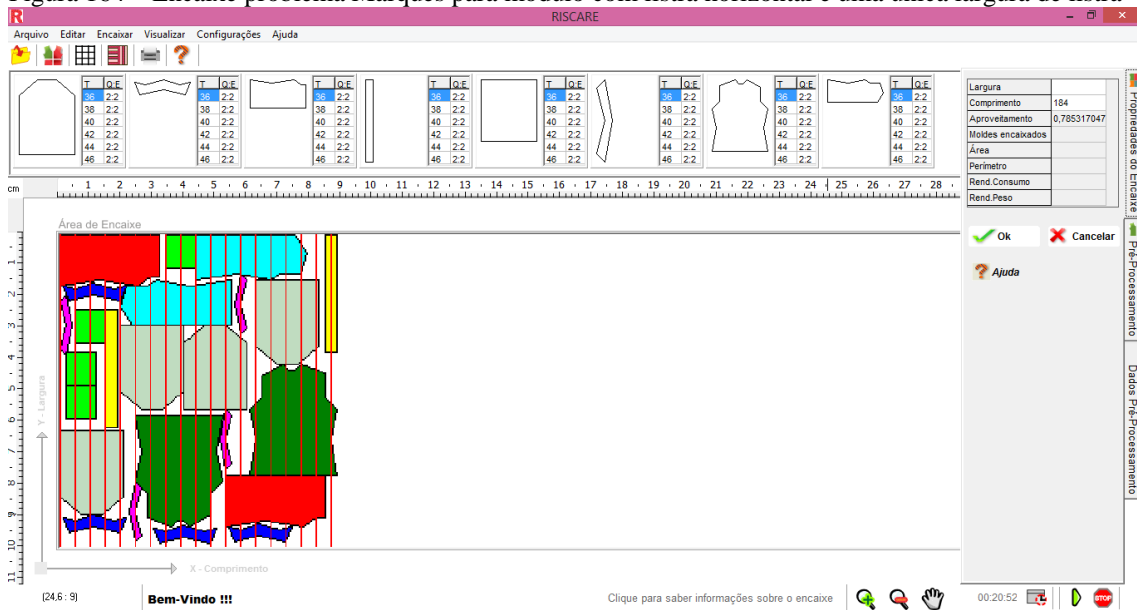
Fonte: a Autora

Figura 163 – Encaixe problema Mao para módulo com listra horizontal e uma única largura de listra



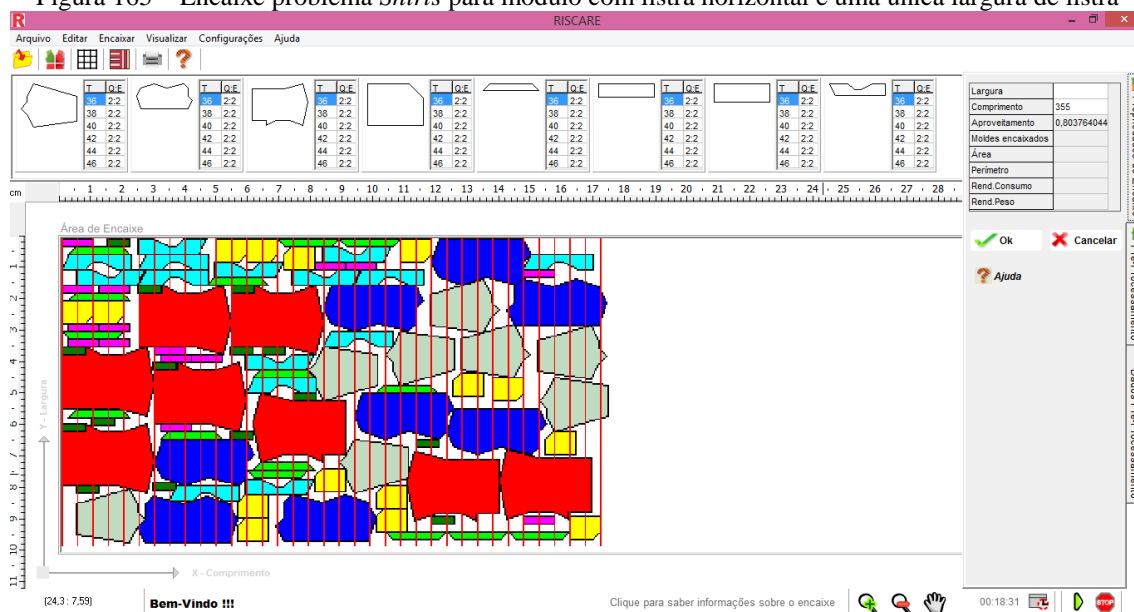
Fonte: a Autora

Figura 164 – Encaixe problema Marques para módulo com listra horizontal e uma única largura de listra



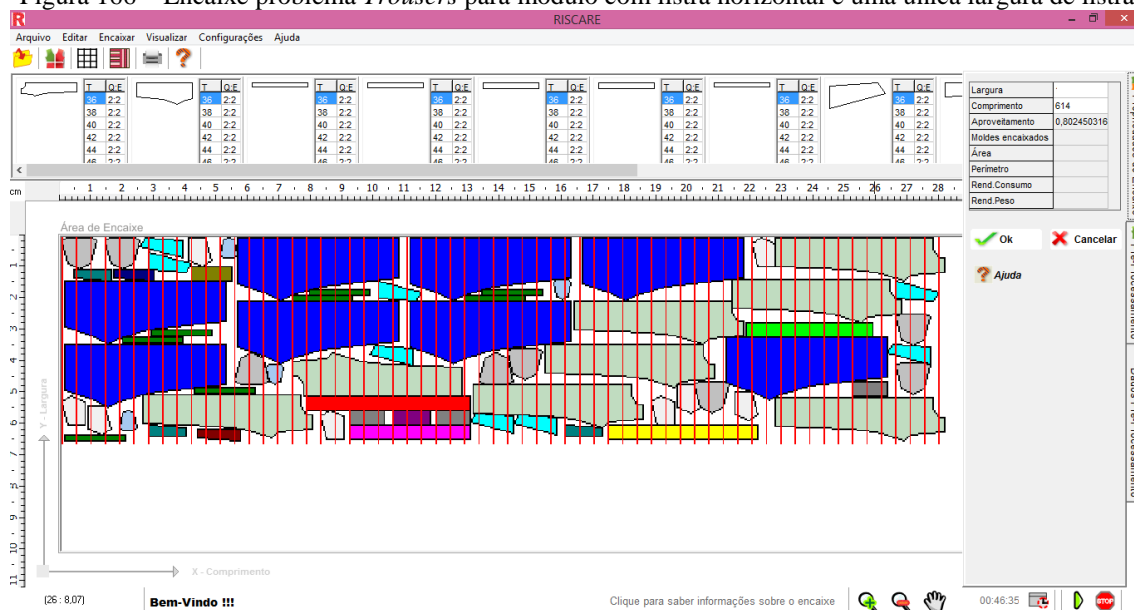
Fonte: a Autora

Figura 165 – Encaixe problema *Shirts* para módulo com listra horizontal e uma única largura de listra



Fonte: a Autora

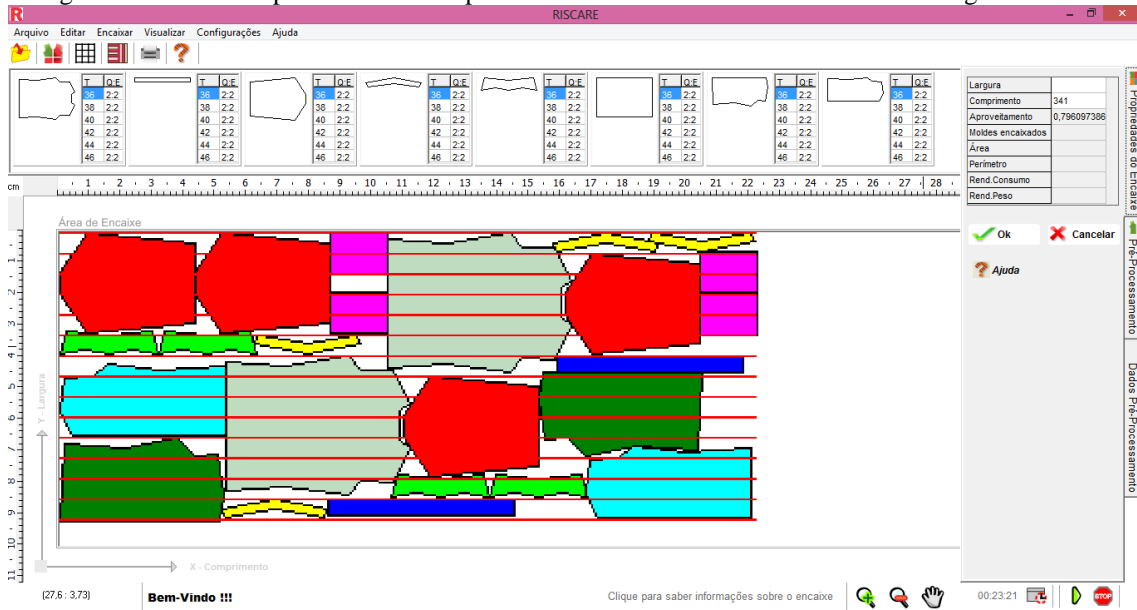
Figura 166 – Encaixe problema *Trousers* para módulo com listra horizontal e uma única largura de listra



Fonte: a Autora

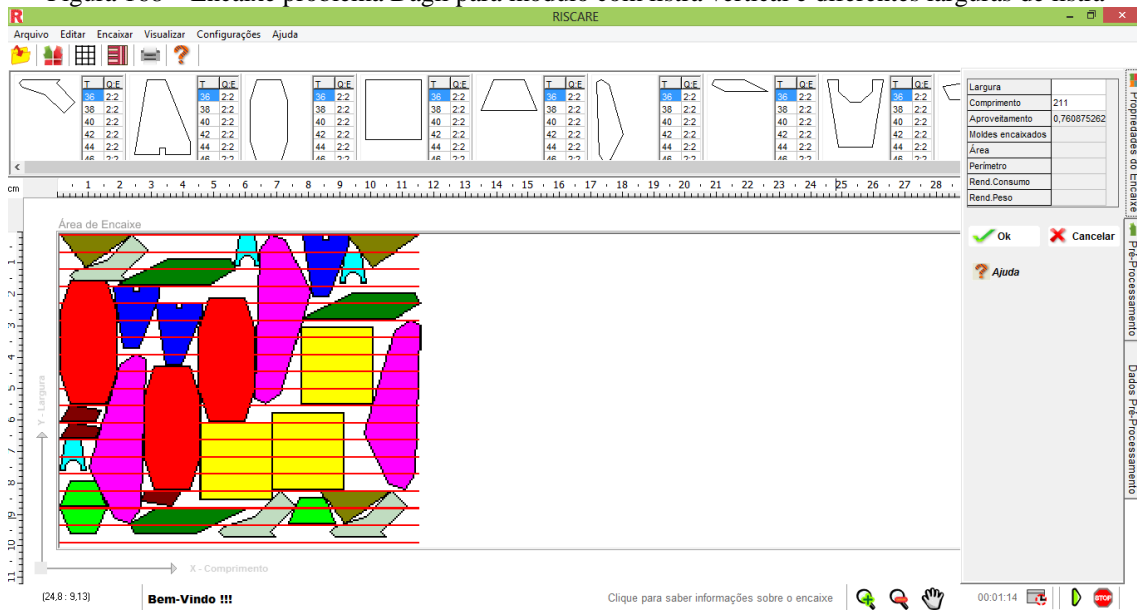
As Figuras 167, 168, 169, 170, 171, 172 e 173 mostram o encaixe no Riscare Listrado dos problemas da Tabela 7 que apresentaram melhor eficiência. Para os problemas da Tabela 7 usou-se um módulo de listra vertical com diferentes larguras de listra e tamanho de 10 unidades.

Figura 167 – Encaixe problema Albano para módulo com listra vertical e diferentes larguras de listra



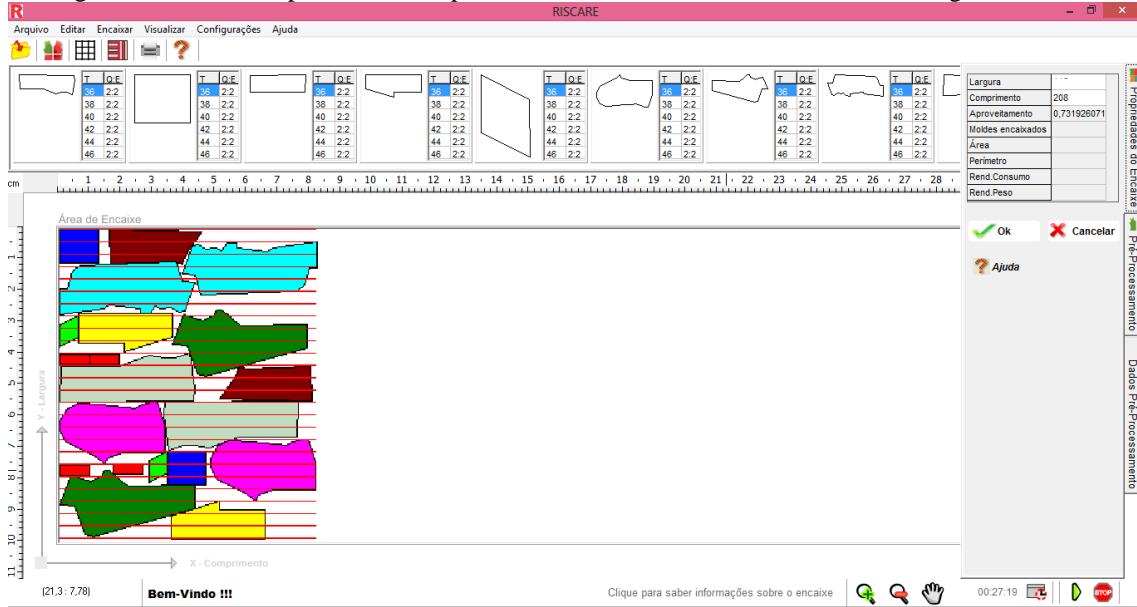
Fonte: a Autora

Figura 168 – Encaixe problema Dagli para módulo com listra vertical e diferentes larguras de listra



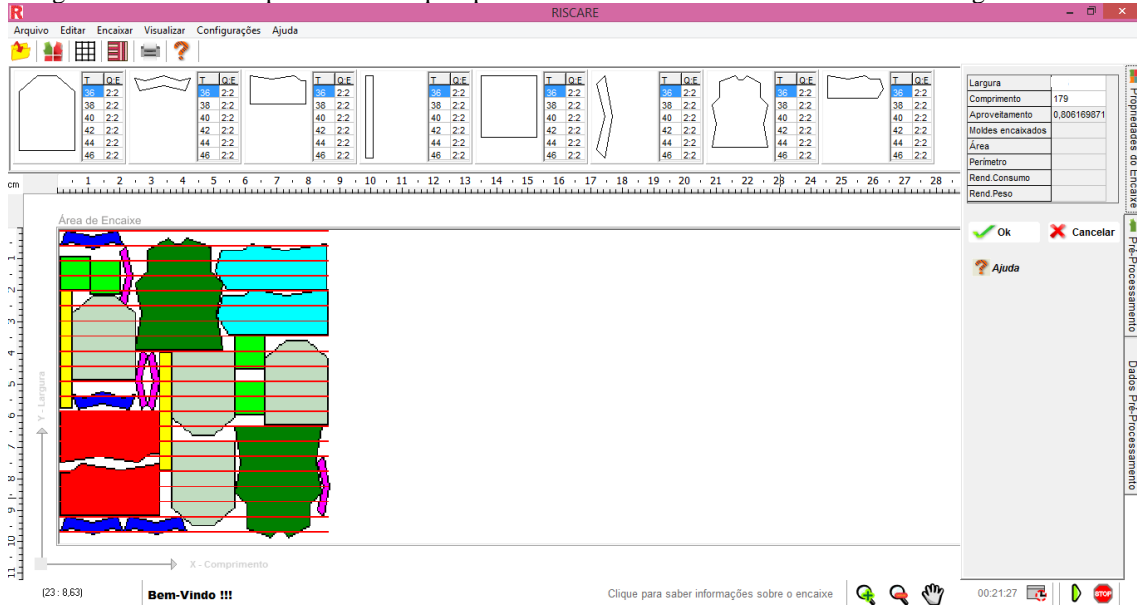
Fonte: a Autora

Figura 169 – Encaixe problema Mao para módulo com listra vertical e diferentes larguras de listra



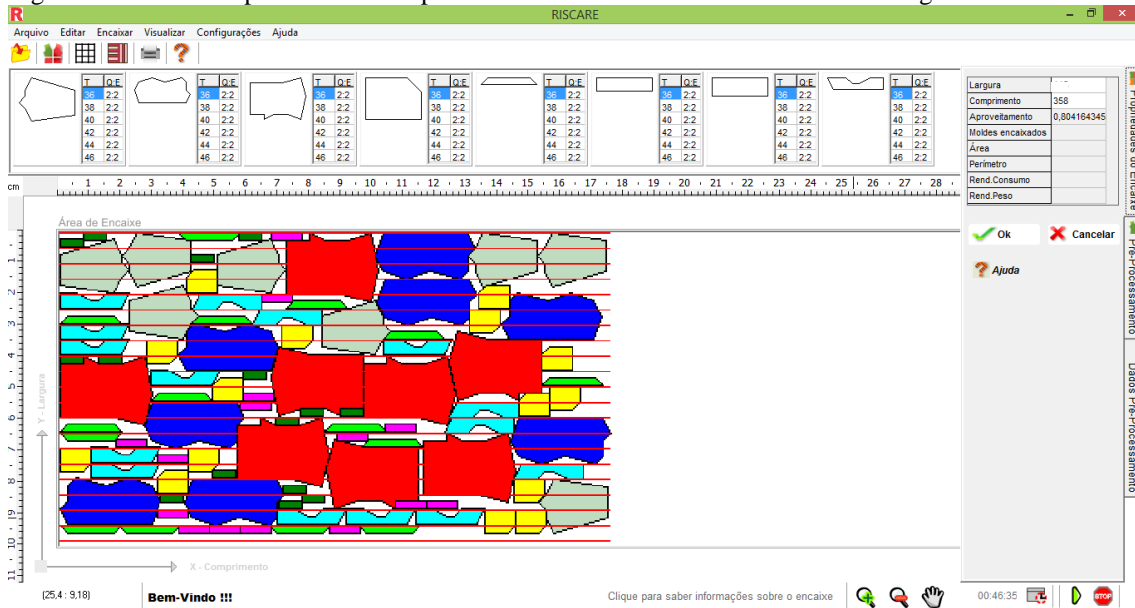
Fonte: a Autora

Figura 170 – Encaixe problema Marques para módulo com listra vertical e diferentes larguras de listra



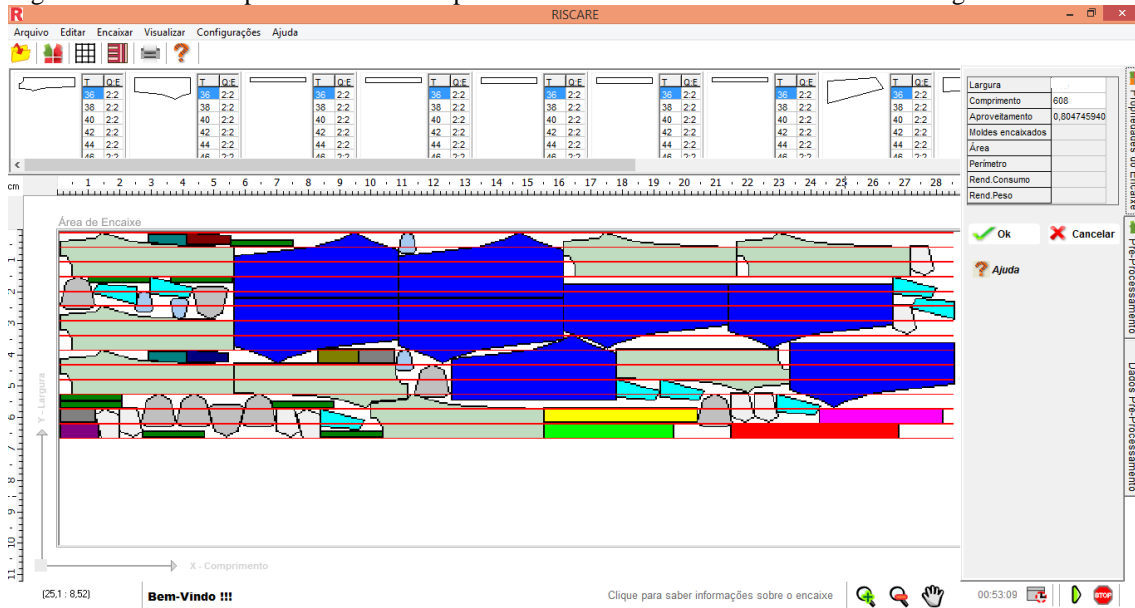
Fonte: a Autora

Figura 171 – Encaixe problema *Shirts* para módulo com listra vertical e diferentes larguras de listra



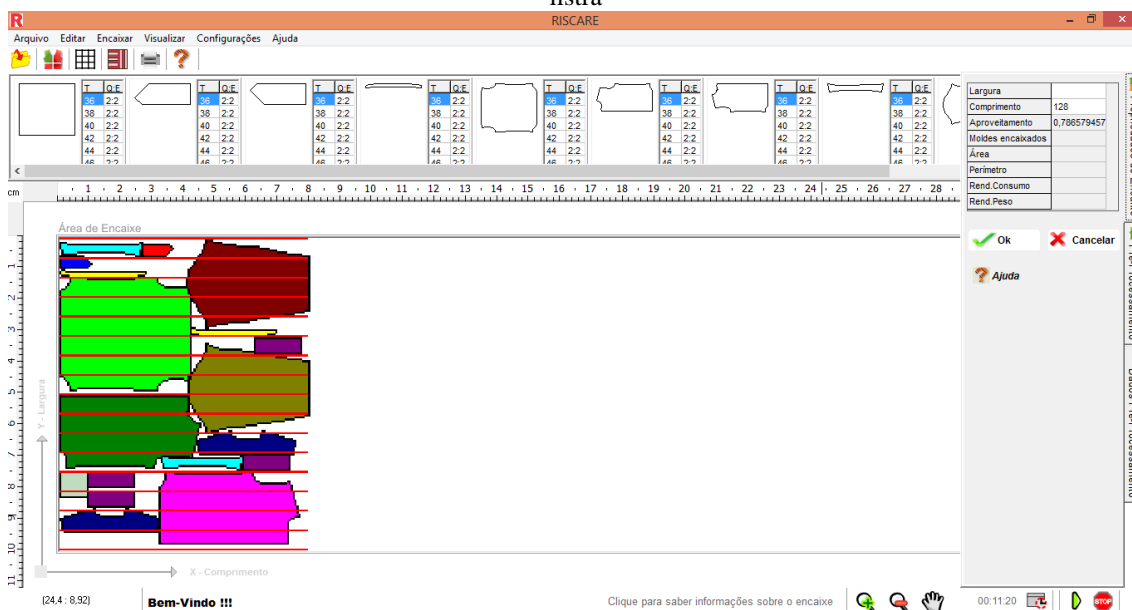
Fonte: a Autora

Figura 172 – Encaixe problema *Trousers* para módulo com listra vertical e diferentes larguras de listra



Fonte: a Autora

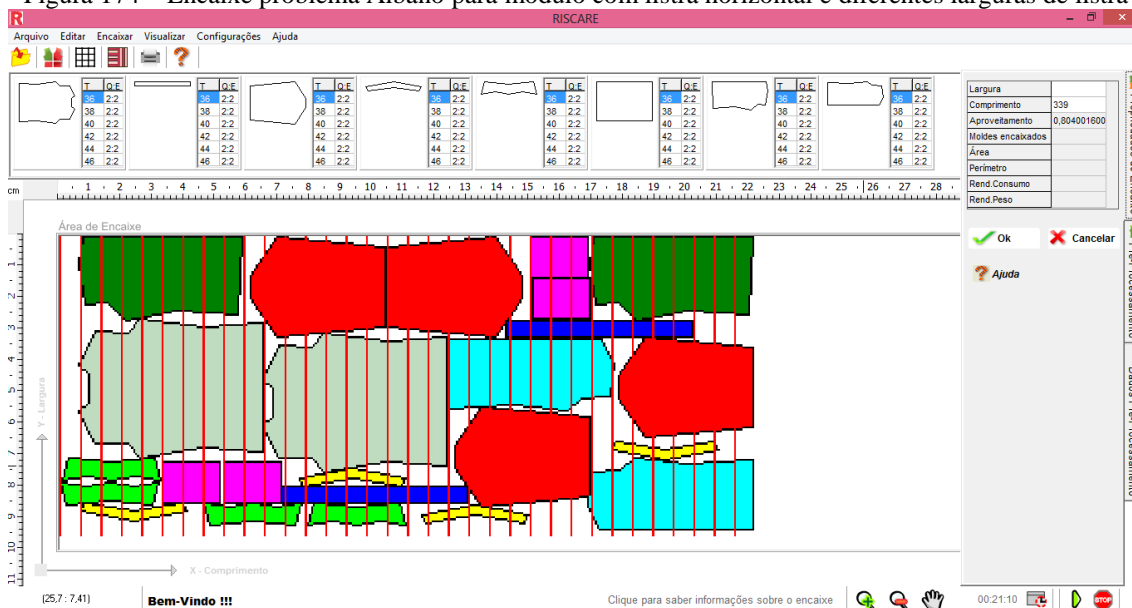
Figura 173 – Encaixe problema Camisa masculina para módulo com listra vertical e diferentes larguras de listra



Fonte: a Autora

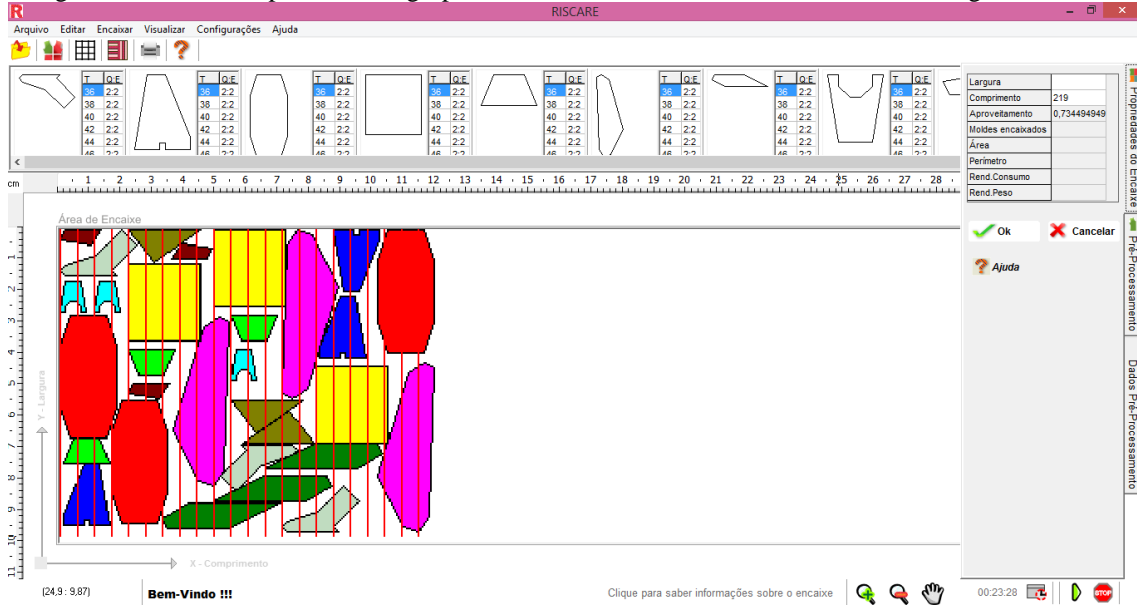
As Figuras 174, 175, 176, 177, 178 e 179 mostram o encaixe no Riscare Listrado dos problemas da Tabela 8 que apresentaram melhor eficiência. Para os problemas da Tabela 8 usou-se um módulo de listra horizontal com diferentes larguras de listra e tamanho de 10 unidades.

Figura 174 – Encaixe problema Albano para módulo com listra horizontal e diferentes larguras de listra



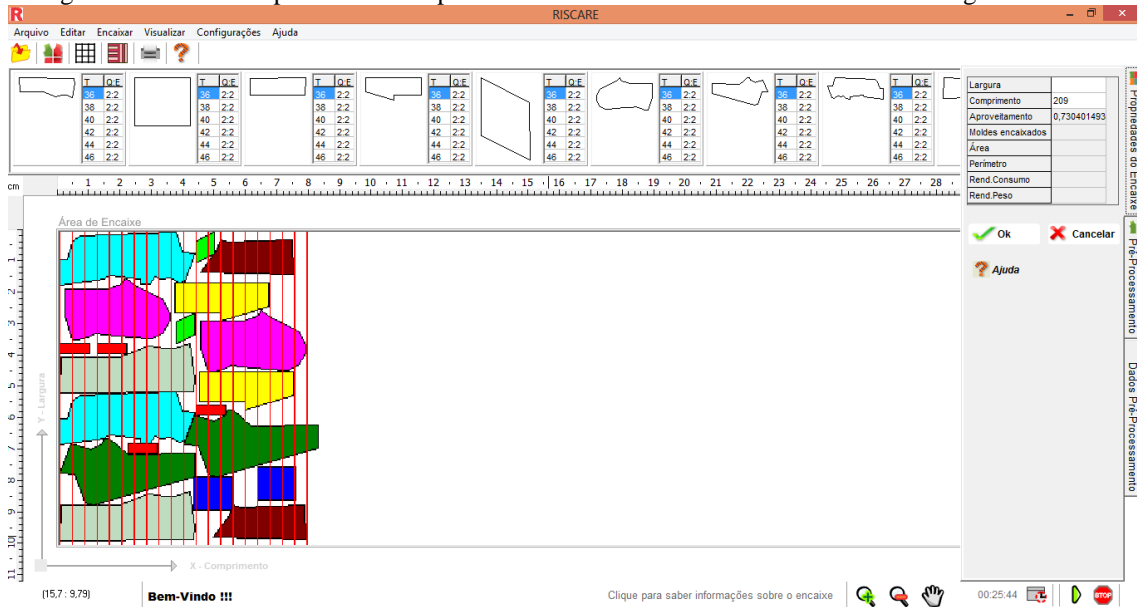
Fonte: a Autora

Figura 175 – Encaixe problema Dagli para módulo com listra horizontal e diferentes larguras de listra



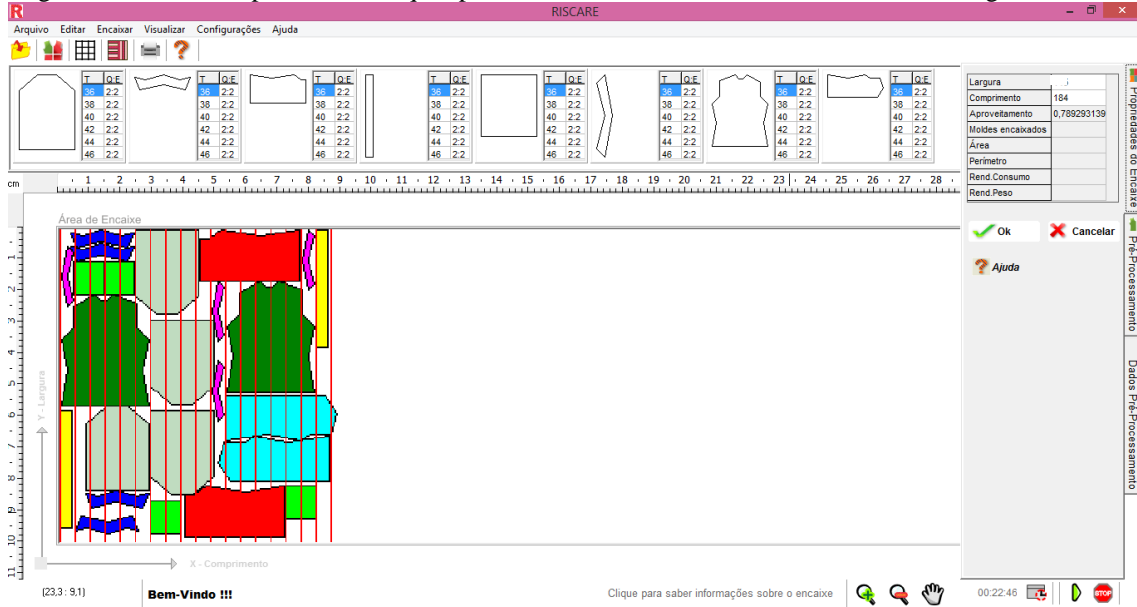
Fonte: a Autora

Figura 176 – Encaixe problema Mao para módulo com listra horizontal e diferentes larguras de listra



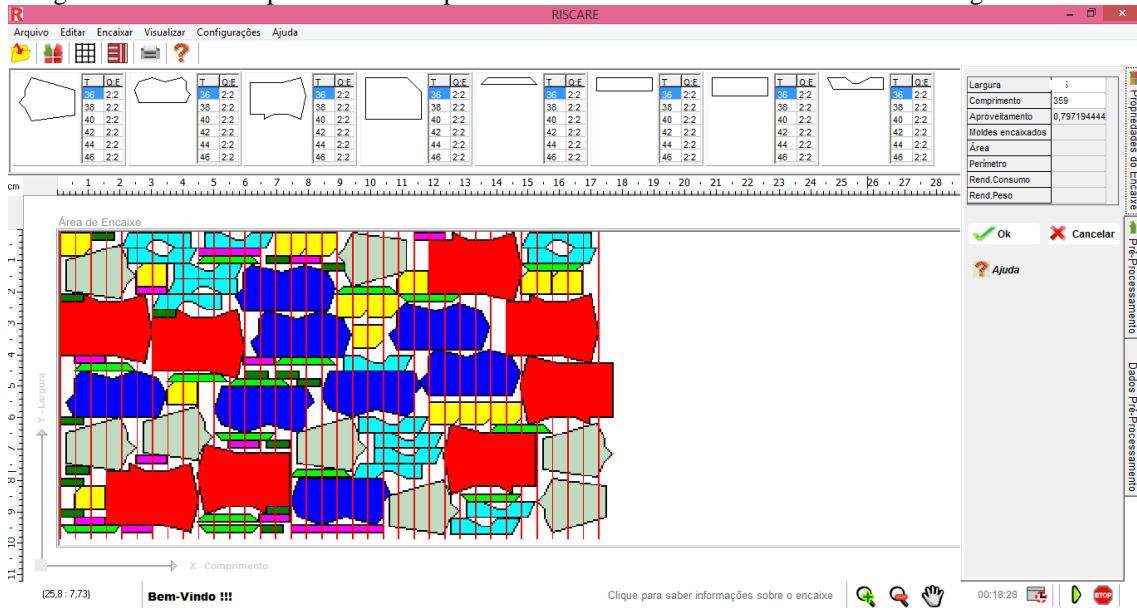
Fonte: a Autora

Figura 177 – Encaixe problema Marques para módulo com listra horizontal e diferentes larguras de listra

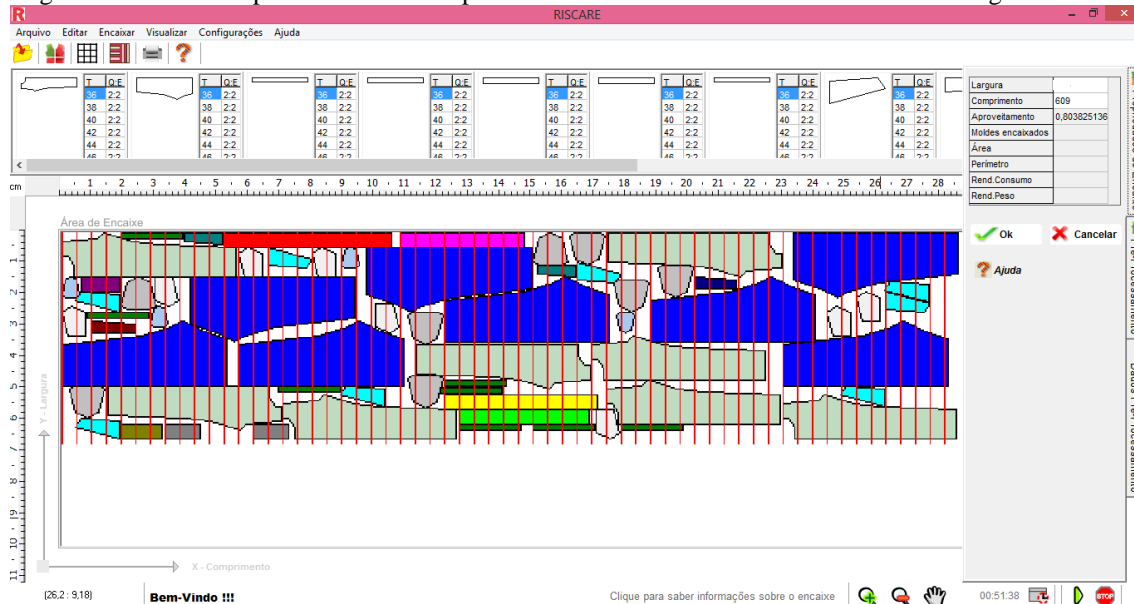


Fonte: a Autora

Figura 178 – Encaixe problema Shirts para módulo com listra horizontal e diferentes larguras de listra



Fonte: a Autora

Figura 179 – Encaixe problema *Trousers* para módulo com listra horizontal e diferentes larguras de listra

Fonte: a Autora

Assim, este subcapítulo apresentou os resultados obtidos no software Riscare Listrado com o algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings. O próximo subcapítulo discute os resultados obtidos e faz uma comparação com os melhores resultados publicados na literatura para o encaixe de peças em materiais lisos.

10.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente trabalho apresentou dois algoritmos que foram desenvolvidos para o problema de colocação dos moldes sobre tecidos listrados: algoritmo de encaixe com pré-processamento e algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings. Os resultados obtidos pelos dois algoritmos foram apresentados nos subcapítulos anteriores. A Tabela 9 faz uma comparação entre as melhores eficiências obtidas entre os dois algoritmos para os problemas testados. Para selecionar a melhor eficiência não foi feita distinção entre o tipo de listra, se horizontal ou vertical, com uma única largura ou com larguras diferentes de listra no módulo.

A Tabela 9 apresenta na primeira coluna os problemas testados, na segunda coluna e suas subdivisões a melhor eficiência (em percentual) com o tempo (em segundos) utilizado pelo algoritmo de encaixe com pré-processamento, na terceira coluna e suas subdivisões está a melhor eficiência com o tempo empregado pelo

algoritmo de busca do melhor encaixe. Para cada um dos problemas está destacada em negrito a melhor eficiência obtida entre os dois algoritmos testados.

Tabela 9 - Melhores eficiências obtidas pelos dois algoritmos apresentados

Problema	Algoritmo de encaixe com pré-processamento (EPP)		Algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings (BMEMH)	
	Melhor Eficiência (%)	Tempo (s)	Melhor Eficiência (%)	Tempo (s)
Albano	73,90	24	80,40	1270
Dagli	71,41	55	76,08	74
Mao	61,18	284	73,19	1639
Marques	77,01	6	81,57	1388
<i>Shirts</i>	79,37	10	80,41	2795
<i>Trousers</i>	78,40	55	80,47	3189
Camisa masculina	74,41	18	78,65	680

Fonte: a Autora

Como é possível observar na Tabela 9, o algoritmo de busca do melhor encaixe alcançou eficiências melhores do que o algoritmo de encaixe com pré-processamento para todos os problemas testados. Quando os testes foram iniciados isso já era esperado, uma vez que para os testes com o algoritmo de busca do melhor encaixe permitiu-se rotação dos moldes em 180°, o que não ocorreu no algoritmo de encaixe com pré-processamento. Em alguns casos, como o problema Mao, a diferença entre as eficiências encontradas pelos dois algoritmos foi significativa. Porém, em outras situações, como em *Shirts* a diferença entre as eficiências foi menor.

Apesar das eficiências do algoritmo de busca do melhor encaixe serem melhores, o tempo de processamento também é maior. É importante destacar que o tempo da fase de pré-processamento não foi computado no cálculo do encaixe do algoritmo com essa fase.

A Tabela 10 compara as melhores eficiências obtidas (Me) entre o algoritmo de busca do melhor encaixe em tecidos listrados com os melhores resultados, das referências, publicados na literatura em tecidos lisos. Para o algoritmo de busca do melhor encaixe são apresentadas a melhor eficiência, o tempo de processamento (T), o tipo do módulo de listra e o grupo de manipulação dos valores das fases de *Burn-in* e Iterações em que a melhor eficiência foi encontrada. Para a referência da literatura é apresentada a melhor eficiência e o tempo de processamento. Mais informações sobre

os autores e os trabalhos que compõem as referências da literatura, assim como outros dados, foram mostradas no subcapítulo 3.4.10 deste trabalho.

Tabela 10 - Comparação entre as eficiências obtidas com o algoritmo de busca do melhor encaixe e as eficiências publicadas na literatura

Problema	Algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings				Referência da literatura		Diferença de eficiência
	Me(%)	T (s)	Tipo do módulo de listra	Fase <i>Burn-in</i> (BI) e Iterações (IT)	Me (%)	T (s)	
Albano	80,40	1270	Horizontal Diferentes larguras	BI = 1.000 IT = 4.000	89,58	1200	- 9,18
Dagli	76,08	74	Vertical Diferentes larguras	BI = 50 IT = 200	89,51	1200	- 13,43
Mao	73,19	1639	Vertical Diferentes larguras	BI = 1.000 IT = 4.000	85,44	1200	- 12,25
Marques	81,57	1388	Vertical Uma única largura	BI = 1.000 IT = 4.000	90,59	1200	- 9,02
<i>Shirts</i>	80,41	2795	Vertical Diferentes larguras	BI = 1.000 IT = 4.000	88,96	1200	- 8,55
<i>Trousers</i>	80,47	3189	Vertical Diferentes larguras	BI = 1.000 IT = 4.000	91,00	1200	- 10,53
Camisa masculina	78,65	680	Vertical Diferentes larguras	BI = 1.000 IT = 4.000	NA	NA	NA

Fonte: a Autora

Através da última coluna é possível constatar que as diferenças entre as eficiências obtidas pelo algoritmo proposto e os resultados publicados na literatura concentram-se em torno de 10%. Aldrich (2014) cita o valor de eficiência acima de 80% como o esperado pelos fabricantes para a confecção de roupas em tecidos lisos. Dos sete problemas testados quatro conseguiram valores superiores a 80% para tecidos listrados, dois valores entre 75% e 80% e um valor entre 70% e 75%.

A pior eficiência encontrada foi de 73,19% para o problema Mao. Mesmo esse sendo o pior resultado ele ainda encontra-se acima da faixa de 65% a 70% de eficiência citada por Araújo (1996) como esperado para tecidos com estampa.

Em relação aos tempos de processamento apresentados na Tabela 10 nota-se uma semelhança nos valores obtidos pelo algoritmo de busca do melhor encaixe quando comparado à referência da literatura para os problemas Albano, Mao e Marques. Os

problemas *Dagli* e *Camisa masculina* quando executados no algoritmo de busca do melhor encaixe tiveram tempos bem inferiores. Enquanto os problemas *Shirts* e *Trousers* obtiveram tempos superiores de processamento.

Os dados da Tabela 10 mostram os tempos obtidos das melhores eficiências encontradas com o algoritmo de busca do melhor encaixe. Porém, também foram conseguidos outros resultados de eficiências muito semelhantes aos apresentados na Tabela 10 e com tempo de processamento inferior (publicados nas Tabelas 5, 6, 7 e 8). Assim, analisa-se a seguir os resultados e as diferenças, entre eficiência e tempo de processamento, obtidas pelos três grupos de manipulação das fases de *Burn-in* e Iterações do algoritmo de busca do melhor encaixe.

Para entender as diferenças alcançadas entre os três grupos de manipulação construiu-se a Tabela 11. A Tabela 11 apresenta as melhores eficiências seguidas da indicação do grupo de manipulação onde foi obtida. Essas informações são mostradas para cada tipo de módulo de listra testado: vertical ou horizontal, com uma única largura de listra ou com diferentes larguras de listra. Assim, a Tabela 11 está dividida em cinco colunas. Na primeira coluna são descritos os problemas e nas quatro colunas restantes os dados obtidos (melhor eficiência e grupo de manipulação) para os diferentes tipos de módulo de listra. Como citado anteriormente, o grupo 1 corresponde aos valores de *Burn-in* = 50 e Iterações = 200, o grupo 2 os valores de *Burn-in* = 500 e Iterações = 2.000 e grupo 3 os valores de *Burn-in* = 1.000 e Iterações = 4.000. Foi destacada em negrito a melhor eficiência obtida entre os diferentes módulos de listra.

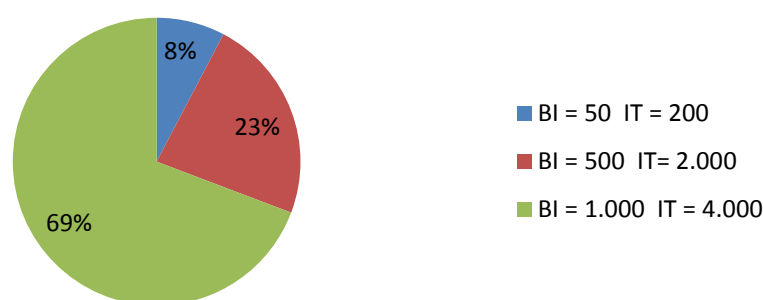
Tabela 11 - Melhores eficiências obtidas para os diferentes tipos de módulo de listra

Problema	Módulo vertical com uma única largura de listra		Módulo horizontal com uma única largura de listra		Módulo vertical com diferentes larguras de listra		Módulo horizontal com diferentes larguras de listra	
	Me (%)	Grupo	Me (%)	Grupo	Me (%)	Grupo	Me (%)	Grupo
Albano	79,34	1	79,22	2	79,60	3	80,40	3
Dagli	75,99	2	72,08	3	76,08	1	73,44	3
Mao	71,96	3	72,97	2	73,19	3	73,04	3
Marques	81,57	3	78,53	3	80,61	3	78,92	3
<i>Shirts</i>	78,49	3	80,37	2	80,41	3	79,71	2
<i>Trousers</i>	80,25	2	80,24	3	80,47	3	80,38	3
Camisa masculina	78,15	3	NA	NA	78,65	3	NA	NA

Fonte: a Autora

Na Tabela 11 é possível verificar que foram encontradas as melhores eficiências para grupos diferentes das fases de *Burn-in* e Iterações. Ao total são 26 resultados de eficiências relacionados a grupos de valores das fases de *Burn-in* e Iterações. O gráfico da Figura 180 apresenta uma divisão dos resultados com as melhores eficiências pelos grupos de manipulação do algoritmo de busca do melhor encaixe.

Figura 180 - Gráfico com percentual de eficiências por grupo de valores das fases de *Burn-in* e Iterações



Fonte: a Autora

Através do gráfico da Figura 180 é possível constatar que o grupo 3 obteve predominantemente as melhores eficiências, seguido pelo grupo 2. O grupo 1 foi o que percentualmente apresentou menos eficiências que conseguiram ser as melhores entre todas encontradas.

Com o objetivo de melhor visualizar as diferenças obtidas entre os três grupos de manipulação das fases de *Burn-in* e Iterações construíram-se mais quatro novas tabelas. A Tabela 12 apresenta quatro colunas. Na primeira coluna estão os problemas testados e nas outras três colunas os três grupos de manipulação dos valores das fases de *Burn-in* e Iterações. A melhor eficiência obtida para cada problema (apresentada na segunda coluna da Tabela 11) foi definida como Referência. Nos dois grupos de manipulação restantes, que não obtiveram a melhor eficiência, são descritas a diferença entre o valor de referência e o valor obtido por aquele determinado grupo. O mesmo é feito com o tempo, quando o tempo de processamento foi menor, apresenta-se com o sinal negativo o quanto ele foi menor. Quando o tempo de processamento foi maior, apresenta-se com sinal positivo a diferença do tempo. Dessa forma a Tabela 12 apresenta as diferenças entre as melhores eficiências obtidas e o tempo de processamento mostrado anteriormente na Tabela 5 para módulo vertical com uma única largura de listra.

Tabela 12 - Diferença das eficiências e tempos obtidos para módulo vertical com uma única largura de listra

Problema	BI = 50 IT= 200		BI = 500 IT= 2.000		BI = 1.000 IT= 4.000	
	Diferença eficiência (%)	T (s)	Diferença eficiência (%)	T (s)	Diferença eficiência (%)	T (s)
Albano	Referência	Referência	- 0,43	+ 611	- 0,06	+ 1293
Dagli	- 0,59	- 678	Referência	Referência	- 0,59	+ 841
Mao	- 1,12	- 1572	- 0,96	- 829	Referência	Referência
Marques	- 3,36	- 1324	- 2,24	- 703	Referência	Referência
<i>Shirts</i>	- 1,09	- 3292	- 0,82	- 1974	Referência	Referência
<i>Trousers</i>	- 2	- 1459	Referência	Referência	- 0,51	+ 1663
Camisa masculina	- 1,07	- 678	- 0,27	- 340	Referência	Referência

Fonte: a Autora

A Tabela 13 está dividida da mesma forma que a Tabela 12, porém apresenta os resultados das diferenças entre as melhores eficiências obtidas e o tempo de processamento mostrado anteriormente na Tabela 6 para módulo horizontal com uma única largura de listra. Os valores de referência da Tabela 13 são mostrados também na terceira coluna da Tabela 11.

Tabela 13 - Diferença das eficiências e tempos obtidos para módulo horizontal com uma única largura de listra

Problema	BI = 50 IT= 200		BI = 500 IT= 2.000		BI = 1.000 IT= 4.000	
	Diferença eficiência (%)	Tempo (s)	Diferença eficiência (%)	Tempo (s)	Diferença eficiência (%)	Tempo (s)
Albano	- 2,14	- 628	Referência	Referência	- 0,35	+ 566
Dagli	- 0,35	- 1298	- 0,26	- 678	Referência	Referência
Mao	- 1,72	- 685	Referência	Referência	- 1,7	+ 776
Marques	- 3,75	- 1191	- 1,46	- 628	Referência	Referência
<i>Shirts</i>	- 2,13	- 1027	Referência	Referência	- 1,61	+ 1130
<i>Trousers</i>	- 2,49	- 2662	- 0,82	- 1422	Referência	Referência

Fonte: a Autora

A Tabela 14 também está dividida da mesma forma que a Tabela 12. Mostra os resultados das diferenças entre as melhores eficiências obtidas e o tempo de processamento apresentado anteriormente na Tabela 7 para módulo vertical com diferentes larguras de listra. Os valores de referência da Tabela 14 são mostrados também na quarta coluna da Tabela 11.

Tabela 14 - Diferença das eficiências e tempos obtidos para módulo vertical com diferentes larguras de listra

Problema	BI = 50 IT= 200		BI = 500 IT= 2.000		BI = 1.000 IT= 4.000	
	Diferença eficiência (%)	Tempo (s)	Diferença eficiência (%)	Tempo (s)	Diferença eficiência (%)	Tempo (s)
Albano	- 3,57	- 1327	- 2,07	- 666	Referência	Referência
Dagli	Referência	Referência	- 0,2	+ 672	- 0,46	+ 1810
Mao	- 2,99	- 1559	- 0,98	- 804	Referência	Referência
Marques	- 1,09	- 1219	- 1,5	- 646	Referência	Referência
<i>Shirts</i>	- 0,36	- 2633	- 0,3	- 1151	Referência	Referência
<i>Trousers</i>	- 2,91	- 3030	- 0,35	- 1583	Referência	Referência
Camisa masculina	- 0,91	- 646	- 0,39	- 329	Referência	Referência

Fonte: a Autora

A Tabela 15 também apresenta informações semelhantes da Tabela 12. Exibe os resultados das diferenças entre as melhores eficiências obtidas e o tempo de processamento mostrado anteriormente na Tabela 8 para módulo horizontal diferentes larguras de listra. Os valores de referência da Tabela 15 são mostrados também na quinta coluna da Tabela 11.

Tabela 15 - Diferença das eficiências e tempos obtidos para módulo horizontal com diferentes larguras de listra

Problema	BI = 50 IT= 200		BI = 500 IT= 2.000		BI = 1.000 IT= 4.000	
	Diferença eficiência (%)	Tempo (s)	Diferença eficiência (%)	Tempo (s)	Diferença eficiência (%)	Tempo (s)
Albano	- 0,09	- 1204	- 1,68	- 631	Referência	Referência
Dagli	- 1,36	- 1339	- 0,15	- 710	Referência	Referência
Mao	- 3,34	- 1469	- 3,26	- 779	Referência	Referência
Marques	- 2,17	- 1305	- 1,74	- 757	Referência	Referência
<i>Shirts</i>	- 0,4	- 1003	Referência	Referência	- 0,06	+ 1214
<i>Trousers</i>	- 1,49	- 2963	- 0,43	- 1628	Referência	Referência

Fonte: a Autora

Com a construção das Tabelas 12, 13, 14 e 15 percebeu-se que as diferenças de eficiência encontradas nos diferentes grupos de manipulação das fases de *Burn-in* e Iterações não são tão significativas quanto as diferenças de tempo de processamento computacional. Assim, com o grupo 1 é possível alcançar eficiências semelhantes ao valor de referência, porém com um tempo de processamento muito inferior.

A quantidade de iterações das fases de *Burn-in* e Iterações do grupo 2 é exatamente dez vezes a quantidade do grupo 1. E o número de iterações das fases de *Burn-in* e Iterações do grupo 3 é exatamente o dobro do grupo 2. Quando analisadas as

Tabelas 5, 6, 7 e 8, os valores de tempo obtidos pelos três grupos de manipulação seguem proporcionalidades semelhantes à quantidade de iterações das fases de *Burn-in* e Iterações. Isso significa que o tempo de processamento do grupo 2 é aproximadamente dez vezes superior ao do grupo 1. E o tempo de processamento do grupo 3 é aproximadamente o dobro do grupo 2. Porém, essa relação de proporcionalidade não ocorre com as eficiências.

Como os valores de referência apresentados nas Tabelas 12, 13, 14 e 15 concentram-se no segundo e terceiro grupo, é possível afirmar, com os dados obtidos nos testes realizados, que o grupo que apresentou um maior equilíbrio entre eficiência e tempo é o segundo, com os valores de *Brun-in* = 200 e Iterações = 2.000.

O estudo das relações entre eficiência e tempo na etapa de encaixe de moldes obtidos pelo algoritmo de busca do melhor encaixe permite o desdobramento do trabalho em pesquisas futuras. Assim como, a realização de novos testes para diferentes problemas.

Dessa forma, apresentaram-se neste capítulo os resultados obtidos com os problemas testados para os dois algoritmos desenvolvidos. O algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings alcançou eficiências superiores quando comparado ao algoritmo de encaixe com etapa de pré-processamento. Quando comparado o algoritmo de busca do melhor encaixe para tecidos listrados com as referências da literatura para tecidos lisos, citadas neste trabalho, o algoritmo de busca do melhor encaixe apresentou resultados piores. Porém, os valores das eficiências alcançadas com o encaixe em tecidos listrados são superiores às recomendadas pela literatura especializada.

11. CONCLUSÃO

Esta pesquisa está inserida na grande área de estudos dos problemas de corte e encaixe. O conjunto de características que definem o problema abordado o classifica, dentro da tipologia proposta por Wäscher, Haubner e Schumann (2007), como *Open Dimension Problem*. Pelo problema ser estudado no contexto de desenvolvimento e produção de produtos do vestuário, a pesquisa também se relaciona com a área de moda.

Há uma quantidade significativa de trabalhos, citados ao longo desta pesquisa, na área de corte e encaixe, específicos da classificação *Open Dimension Problem* (GOMES e OLIVEIRA, 2006; BURKE *et al.*, 2010, ELKERAN, 2013). A maioria dessas publicações utiliza de exemplos de moldes da indústria do vestuário para testar a eficiência das soluções propostas para o encaixe das peças.

Por outro lado, na literatura especializada da área de moda e vestuário (FISCHER, 2010; TYLER, 2008; ALDRICH, 2014; TREPTOW, 2007; ARAÚJO, 1996; YATES, 1995) há consenso entre os pesquisadores sobre as restrições que alguns tipos de tecido impõem ao processo produtivo, mais especificamente na etapa de encaixe dos moldes. Um exemplo dessa situação, assunto da presente pesquisa, são as restrições do encaixe dos moldes sobre tecidos listrados. Neste tipo de tecido há a necessidade de continuidade das listras após a confecção das roupas.

Apesar de haver uma quantidade significativa de referências bibliográficas dos dois temas citados, o mesmo não ocorre quando os assuntos são tratados em conjunto. As duas pesquisas citadas neste trabalho (KO e KIM, 2013; EGEBLAD, NIELSEN e ODGAARD, 2007), que abordam o problema do encaixe de moldes em tecidos listrados, não são específicas, não aprofundam o estudo das restrições do problema e não apresentam resultados que podem ser comparados. Com essa constatação, ao longo desta pesquisa expandiu-se o estudo sobre o problema de encaixe de moldes em tecidos listrados. Dessa forma, tentou-se preencher a lacuna existente com o desenvolvimento de soluções e algoritmos específicos para o problema de colocação dos moldes sobre tecidos listrados que respeitassem as restrições de posição e rotação inerentes ao problema.

Foram propostas duas técnicas distintas: algoritmo com fase de pré-processamento e algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings. Após a finalização dos testes, descritos no capítulo 10, pode-se concluir que o algoritmo de busca do melhor encaixe obteve soluções mais eficientes

para os problemas propostos. Nos problemas testados, a eficiência alcançada para o algoritmo de busca do melhor encaixe ficou em torno de 80%.

Aldrich (2014) recomenda para a eficiência do encaixe em tecidos lisos um valor superior a 80%. Araújo (1996) sugere para tecidos estampados e que respeitam a continuidade da estampa após a peça ser confeccionada uma eficiência do encaixe em torno de 65 a 70%. Assim, considerando a literatura especializada da área de moda, os valores de eficiência obtidos através dos testes realizados alcançaram valores superiores aos recomendados para o encaixe em tecidos listrados.

Apesar de o algoritmo proposto obter bons valores de eficiência, não se tem a garantia que ele encontra a solução ótima para problema. Essa característica faz o algoritmo se enquadrar na sugestão de Garey e Johnson (1979) para o desenvolvimento de soluções quando os problemas são NP-difícil. Os autores defendem que algoritmos exatos não devem ser a prioridade. Apesar da publicação de Garey e Johnson (1979) não ser recente, os trabalhos citados na presente pesquisa (EGEBLAD, NIELSEN e ODGAARD, 2007; GOMES e OLIVEIRA, 2006; BURKE *et al.*, 2010; ELKERAN, 2013; BALDACCI *et al.*, 2014) corroboram com os autores e por diversas vezes os citam. Nenhuma das soluções propostas e descritas ao longo deste trabalho, por diferentes autores, foram através de algoritmos exatos.

Além dessa semelhança, também é possível perceber outros aspectos em comum quando as conclusões obtidas por autores, citados ao longo deste estudo, são comparadas aos resultados encontrados no presente trabalho. Elkeran (2013) conclui ao final de seu trabalho que o algoritmo proposto por ele apresenta uma alternativa competitiva quando comparado com outras publicações. Os autores também defendem a qualidade obtida com um tempo de processamento razoavelmente rápido. Assim como Elkeran (2013), acredita-se que o algoritmo de busca do melhor encaixe é uma alternativa competitiva para lidar com o problema do encaixe de moldes em tecidos listrados. Obtiveram-se também no software Riscare Listrado encaixes de boa qualidade com tempo de processamento rápido.

Baldacci *et al.* (2014) finalizam a pesquisa defendendo a escolha pela abordagem geométrica através do método *raster*. Os autores acreditam que essa abordagem é mais eficiente para trabalhar áreas com defeitos. Ressaltam que a solução proposta por eles resolve problemas reais com boa qualidade nas soluções e com pequeno tempo de processamento computacional. Os autores também defendem que o

algoritmo desenvolvido por eles pode ser útil para outros problemas complexos e reais das indústrias, como o posicionamento de imagens ou o alinhamento de desenhos das estampas nas roupas. Do mesmo modo que apontado por Baldacci *et al.* (2014) acredita-se que a abordagem geométrica através do método *raster* é a mais recomendada para trabalhar áreas que necessitam de identificação, como as listras. Provou-se que o algoritmo desenvolvido resolve problemas reais, através do exemplo da camisa masculina.

Ko e Kim (2013) concluem o trabalho publicado ressaltando o desenvolvimento do encaixe automático de moldes em tecidos estampados. Os autores desenvolveram um detector de imagens para identificar o módulo do tecido estampado. Após a identificação do módulo, essa informação é utilizada para o encaixe dos moldes. Assim como Ko e Kim (2013), o software desenvolvido executa o encaixe automático de moldes em tecidos listrados.

A comparação e verificação de muitas semelhanças positivas com artigos que são referência na literatura, para os problemas abordados na presente pesquisa, evidencia a qualidade do algoritmo desenvolvido para o problema do encaixe de moldes em tecidos listrados. Essas questões também auxiliam a verificação das hipóteses propostas no início do trabalho.

A primeira hipótese “A representação gráfica dos moldes e do tecido através da simplificação das formas geométricas pela divisão das peças em *grids*, com informações numéricas e com cores, possibilita o correto posicionamento dos moldes nas listras durante o processo de encaixe” é verdadeira. Através do método *raster*, e da utilização de números e cores foi possível a colocação dos moldes sobre o tecido listrado, respeitando as restrições de posicionamento. Porém, a abordagem geométrica garante apenas o posicionamento correto dos moldes, não soluções eficientes de encaixe.

A segunda hipótese “Quanto maior for o número de encaixes diferentes gerados, haverá mais chance de se obter uma eficiência maior como solução final, mas com maior tempo de processamento computacional” também é verdadeira. Os grupos de manipulação utilizados para testar o algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings mostraram que um número maior de iterações tem mais possibilidade de obter um encaixe com maior eficiência. A diferença na quantidade de iterações aumenta proporcionalmente o tempo gasto, porém não é possível afirmar que o mesmo impacto ocorre na diferença entre as eficiências

encontradas. O aumento na quantidade de iterações não é garantia de incremento também na eficiência, aumenta-se apenas a possibilidade de encontrar uma solução mais eficiente.

Assim, utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings desenvolveu-se um algoritmo eficiente para o problema do encaixe de moldes em tecidos listrados. Com a implementação do algoritmo no software Riscare Listrado, obteve-se uma ferramenta computacional que se mostra competitiva para a indústria da moda.

Cabe lembrar o alto custo para o desenvolvimento de softwares e máquinas para resoluções de problemas específicos da indústria do vestuário. Daniel Harari, citado no início deste trabalho e diretor geral da empresa Lectra, estima que para desenvolver o software e a máquina da empresa que permitem o encaixe de moldes sobre o couro foi gasto aproximadamente 20.000.000,00 EUR. Além do alto custo de desenvolvimento, o tempo necessário também costuma ser longo (MODA, 2014).

No Brasil, a soma da quantidade de micro e pequenas empresas da área têxtil e de confecção resulta em torno de 98% do total de aproximadamente 30 mil empresas do setor. Combina-se a esse dado o alto volume gasto das famílias brasileiras com produtos têxteis e de vestuário, que em 2014 foi de R\$ 100 bilhões.

A elevada produção de produtos do vestuário por empresas, que na maioria das vezes podem não ter condições de adquirir softwares já consagrados comercialmente, indica que a pesquisa desenvolvida pode contribuir para a melhoria da qualidade das roupas produzidas no país. Além da qualidade das roupas, também há os benefícios de melhoria na eficiência do processo produtivo e diminuição do uso de matéria-prima. Todos esses fatores colaboram para aumentar a competitividade dos produtos desenvolvidos. Dado importante, uma vez que a importação de produtos do vestuário aumentou 24 vezes no período entre 2003 e 2013, sendo necessário o aumento das qualidades dos produtos da indústria nacional para a manutenção da competitividade com os produtos importados (ABIT 2014; ABIT, 2006 *apud* BRITO, 2008).

A solução proposta no presente trabalho considerou diversos aspectos que colaboram para a competitividade das roupas confeccionadas em tecidos listrados. Dentre os benefícios destaca-se que, na solução proposta, um molde, que constitui uma parte da roupa, terá as mesmas posições das listras em todos os lugares, mesmo que ele tenha mais de uma cópia no encaixe. Assim, após a etapa de corte, não é preciso separar diferentes grupos de tecido para a etapa de costura, já que todas as partes possuem as

listras no mesmo local. Outro ponto positivo é que todas as peças confeccionadas apresentam o mesmo aspecto. Para que isso seja possível, não houve considerável perda de matéria-prima, uma vez que a eficiência de utilização do tecido pode ser alta. Além disso, o usuário pode identificar a localização específica do módulo da listra para cada molde. O processo é 100% automatizado, assim não é preciso que o usuário encaixe manualmente nenhum dos moldes. Considerando os diversos benefícios da solução proposta e com a implementação de algumas melhorias para uso com fim comercial, o software Riscare Listrado pode vir a atender a uma demanda de mercado e auxiliar para aumentar a competitividade de diversas micro e pequenas empresas brasileiras.

Todos esses dados ressaltam a importância dos resultados obtidos por esta pesquisa para problemas reais da confecção de produtos do vestuário. Acredita-se que o trabalho desenvolvido pode também colaborar com outros problemas reais, de outros sistemas produtivos, que possuam restrições que precisam ser consideradas para o encaixe das peças. Acredita-se também que o presente trabalho colaborou para a diminuição de uma lacuna existente em duas áreas de pesquisas que estão interligadas: corte e encaixe e desenvolvimento de produtos do vestuário.

11.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apresentam-se algumas sugestões para trabalhos futuros.

- Aplicação da solução proposta para outros problemas de encaixe unidimensional, bidimensional ou tridimensional com diferentes restrições.
- Adaptação do algoritmo proposto para utilização no encaixe de moldes em tecidos xadrezes e com estampas de desenhos.
- Aplicação de outros algoritmos de busca utilizando a solução proposta para a correta colocação e rotação dos moldes sobre tecidos listrados.
- Melhoria na precisão do desenho dos moldes através do método *raster*.
- Adaptação da solução proposta para o encaixe de moldes em tecidos listrados utilizando como abordagem geométrica o polígono *no-fit*.
- Alterações na distribuição proposta do algoritmo de busca do melhor encaixe utilizando o algoritmo de Metropolis-Hastings e verificação das

diferenças entre eficiências e tempo de processamento nas soluções testadas.

REFERÊNCIAS

ABIT. Agenda de Prioridades Têxtil e Confecção – 2015/2018. **ABIT**, São Paulo, 2014. Disponível em: < http://www.abit.org.br/conteudo/links/publicacoes/agenda_site.pdf>. Acesso: 3 fev. 2014.

ALBANO, A.; SAPUPPO G. **Optimal allocation of two-dimensional irregular shapes using heuristic search methods**. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 10, p. 242–248, 1980.

ALDRICH, W. **Modelagem plana para moda feminina**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

ALVES, A. S. **Design do vestuário: técnica e software de encaixe de moldes no tecido**. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ARAÚJO, M. **Tecnologia do Vestuário**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.

AUSTRALIANOS desenvolvem roupa que repele tubarões. **BBC Brasil**, São Paulo, jul. 2013. Disponível em: < http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/07/130719_invencao_roupa_tubarao_lgb>. Acesso: 16 fev. 2014.

BALDACCI, R.; BOSCHETTI, M. A.; GANOVELLI M.; MANIEZZO, V. **Algorithms for nesting with defects**. Discrete Applied Mathematics, 163, p. 17-33, 2014.

BASTIEN, J. M. C.; SCAPIN, D. L. **Ergonomic Criteria for the Evaluation of Human-Computer Interfaces**. Technical Report, 156, 1993.

BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

BENNELL, J. A.; DOWSLAND, K. A. **Hybridising tabu search with optimisation techniques for irregular stock cutting**. Management Science, 47, p. 1160-1172, 2001.

BENNELL, J. A.; DOWSLAND, K. A.; DOWSLAND, W. B. **The irregular cutting-stock problem – a new procedure for deriving the no-fit polygon**. Computers & Operations Research, 28, p. 271-287, 2001.

BENNELL, J. A.; OLIVEIRA, J. F. **The geometry of nesting problems: a tutorial.** European Journal of Operational Research, 184, p. 397-415, 2008.

BENNELL, J. A.; OLIVEIRA, J. F. **A tutorial in irregular shape packing problems.** Journal of the Operational Research Society, 60, p. 93-105, 2009.

BORLINA FILHO, V. Setor Têxtil vira o 2º em repasses do BNDES. **Folha de São Paulo**, São Paulo, jul. 2012. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mercado/54896-setor-textil-vira-o-2-em-repasses-do-bndes.shtml>>. Acesso em: 16 fev. 2014.

BOUNSAYTHIP, C.; MAOUCHE, S. Irregular Shape Nesting and Placing with Evolutionary Approach. In: 1997. Computational Cybernetics and Simulation, 4, 1997, Orlando. **IEEE International Conference On Systems, Man and Cybernetics**, Orlando, 1997, p. 3425-3430.

BRITO, V. **Crise pode representar oportunidade para setor têxtil e de confecção.** Out. 2008. Disponível em: <http://www.sebraemg.com.br/Geral/VisualizarDestaque.aspx?Cod_destaque=5273&navegacao=27.10.2008++Crise+pode+representar+oportunidade+para+setor+t%C3%AAtil+e+de+confec%C3%A7%C3%A3o> Acesso em: 13 mar. 2009.

BUNGE, M. **La ciencia, su método y su filosofía.** Buenos Aires: Siglo Veinte, 1974.

BURKE, E. K.; HELLIER, R.; KENDALL, G.; WHITWELL, G. **A New Bottom-Left-Fill Heuristic Algorithm for the Two-Dimensional Irregular Packing Problem.** Operations Research, 54, p. 587 – 601, 2006.

BURKE, E. K.; HELLIER, R.; KENDALL, G.; WHITWELL, G. **Complete and robust no-fit polygon generation for the irregular stock cutting problem.** European Journal of Operational Research, 179, p. 27 – 49, 2007.

BURKE, E. K.; HELLIER, R.; KENDALL, G.; WHITWELL, G. **Irregular Packing Using the Line and Arc No-Fit Polygon.** Operations Research, 58, p. 948 – 970, 2010.

CALDAS, D. **Universo da Moda:** curso online. São Paulo: Anhembi Morumbi, 1999.

CANI, P. de. **Packing problems in theory and practice.** Ph. D. Thesis, Department of Engineering Production, University of Birmingham, 1979.

CATELLANI, R. M. **Moda Ilustrada de A a Z**. Barueri: Manole, 2003.

CHATAIGNIER, G. **Fio a fio**: tecidos, moda e linguagem. São Paulo: Estação das Letras Editora, 2006.

CHINTI AND PARKER. **Striped organic stretch-cotton pencil skirt**. [201-?]. 1 fotografia. Disponível em:
<http://www.theoutnet.com/product/381553?cm_mmc=LinkshareUS-_-Hy3bqNL2jtQ-_-Custom-_-LinkBuilder&siteID=Hy3bqNL2jtQ-JeKS10cmw4hdo_ZCK_z7tw>.
Aceso em 10 abr. 2014.

COFFMAN, E. G.; GAREY, M. R.; JOHNSON, D. D.; TARJAN, R. E. **Performance Bounds for Level-Oriented Two-Dimensional Packing Algorithms**. SIAM Journal on Computing, 9, p. 808–826, 1980.

COPPIN, B. **Artificial Intelligence Illuminated**. Sudbury: Jones and Bartlett Publishers, 2010.

COSTA, F. S. **Aprendizagem estrutural de redes bayesianas pelo método de Monte Carlo e Cadeias de Markov**. Dissertação (mestrado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

DEL VALLE, A. M. **Problema da Mochila com Itens Irregulares**. Dissertação (mestrado) – Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

DOKEROGLU, T.; COSAR, A. **Optimization of one-dimensional Bin Packing Problem with island parallel grouping genetic algorithms**. Computers & Industrial Engineering, 75, p. 176-186, 2014.

DOOB, J. L. **Stochastic processes**. New York: Wiley; 1953.

DOWSLAND, K. A.; DOWSLAND, W. B. **Solution approaches to irregular nesting problems**. European Journal of Operational Research, 84, p. 506-521, 1995.

DOWSLAND, K. A.; DOWSLAND, W. B.; BENNELL, J.A. **Jostling for position: local improvement for irregular cutting patterns**. The Journal of the Operational Research Society, 49, p. 647–658, 1998.

DYCKHOFF, H. **A typology of cutting and packing problems**. European Journal of Operational Research, 44, p. 145–159, 1990.

EGEBLAD, J.; NIELSEN, B. K.; ODGAARD, A. **Fast neighborhood search for two- and three-dimensional nesting problems**. European Journal of Operational Research, 183, p. 1249-1266, 2007.

ELKERAN, A. **A new approach for sheet nesting problem using guided cuckoo search and pairwise clustering**. European Journal of Operational Research, 231, p. 757-769, 2013.

ERGOLIST. Jan. 2008. Disponível em: <<http://www.labiutil.inf.ufsc.br/ergolist/>> Acesso em: 2 ago. 2009.

ESCOLA SENAI “ENGº. ADRIANO JOSÉ MARCHINI” - Centro Nacional de Tecnologia em Vestuário. **Terminologia do Vestuário**: português; espanhol-português; inglês-português; francês-português. São Paulo: [s.n], 1996.

FISCHER, A. **Construção de vestuário**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

FRITSCH, A. **Cutting Stock by Iterated**. 19 dez. 1994. Disponível em: <www.inf.uos.de/papers_html/or_94/node2.html > Acesso em: 24 out. 2008.

GABOW, H. **Implementation of Algorithms for Maximum Matching on Nonbipartite Graphs**. Ph. D. Thesis, Stanford University, 1973.

GAREY, M. R; JOHNSON, D. S. **Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness**. New York: W. H. Freeman and Company, 1979.

GAREY, M. R; JOHNSON, D. S. **Approximation Algorithms for Bin Packing Problems: A Survey**. Analysis and Design of Algorithms in Combinatorial Optimization, 266, p. 147–172, 1981.

GEYER, C. J. **Practical Markov chain Monte Carlo**. Statistical Science, 7, p. 473-511, 1992.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2010.

GILKS, W. R.; RICHARDSON, S.; SPIEGELHALTER, D. J. **Markov Chain Monte Carlo in Practice**. New York: Chapman & Hall/CRC, 1996.

GILMORE, P.C.; GOMORY, R.E. **A linear programming approach to the cutting-stock problem**. Operations Research, 9, p. 849–859, 1961.

GILMORE, P.C.; GOMORY, R.E. **A linear programming approach to the cutting-stock problem-Part II**. Operations Research, 11, p. 864–888, 1963.

GILMORE, P.C.; GOMORY, R.E. **Multistage cutting stock problems of two and more dimensions**. Operations Research, 13, p. 94–120, 1965.

GLOVER, F.; TAILLARD, E.; WERRA, D. de. **A user's guide to tabu search**. Annals of Operations Research, p.3–28, 1993.

GOMES, A. M.; OLIVEIRA, J. F. **A 2-exchange heuristic for nesting problems**. European Journal of Operational Research, 141, p. 359-370, 2002.

GOMES, A. M.; OLIVEIRA, J. F. **Solving Irregular Strip Packing problems by hybridising simulated annealing and linear programming**. European Journal of Operational Research, 171, p. 811-829, 2006.

GOMES FILHO, J. **Gestalt do Objeto**. São Paulo: Escrituras, 2009.

GONÇALVES, J. F.; RESENDE, M. G. C. **A biased random key genetic algorithm for 2D and 3D bin packing problems**. International Journal Production Economics, 145, p. 500-510, 2013.

HASTINGS, W. K. **Monte Carlo Sampling Methods Using Markov Chains and Their Applications**. Oxford: Biometrika, 57, p. 97-109, 1970.

HERZ, J.C. **Recursive computational procedure for twodimensional stock cutting**. IBM Journal of Research and Development, 16, 462–469, 1972.

HOPPER, E. **Two dimensional packing utilising evolutionary algorithms and other meta-heuristic methods**. School of Engineering (Ph.D. thesis) - University of Wales, Cardiff, 2000.

IMAMICHI, T.; YAGIURA, M.; NAGAMOCHI, H. **An iterated local search algorithm based on nonlinear programming for the irregular strip packing problem**. *Discrete Optimization*, 6, p.345–361, 2009.

JONES, S. J. **Fashion Design**: manual do estilista. São Paulo: Cosac Naify, 2011.

JURAN, J.M. **Quality Control Handbook**. New York : McGraw-Hill, 1951.

KIRKPATRICK, S., GELATT, C. D., VECCHI, M. P. **Optimization by simulated annealing**. *Science*, 220, p. 671-680, 1983.

KO, E.; KIM, S. **Garment Pattern Nesting Using Image Analysis and Three-Dimensional Simulation**. *Fibers and Polymers*, 14, p. 860-865, 2013.

LANVIN. **Lanvin striped cotton blend blazer**. [201-?]. 1 fotografia. Disponível em: <<http://www.cherae.com/lanvin-striped-cotton-blend-blazer-p-6098.html>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

LAUREN, P. R. **Varied Stripe Logo Shirt in Blue Mid**. [201-?]. 1 fotografia. Disponível em: < <http://www.ebay.co.uk/itm/POLO-RALPH-LAUREN-Varied-Stripe-Logo-Shirt-in-BLUE-MID-/261138133459>>. Acesso em: 19 fev. 2014.

LEUNG, S. C. H.; LIN, Y.; ZHANG, D. **Extend local search algorithm based on nonlinear programming for two-dimensional irregular strip packing problem**. *Computers & Operations Research*, 39, p. 678- 686, 2012.

LI, Z.; MILENKOVIC, V. J. **Compaction and separation algorithms for non-convex polygons and their applications**. *European Journal of Operational Research*, 84, p. 539–561, 1995.

MARCONI, M de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas Editora, 2007.

MARSLAND, S. **Machine Learning**: An Algorithm Perspective. New York: Chapman & Hall, 2008.

MARTINS, T. C. **Estudo do Recozimento Simulado e do Polígono de Obstrução Aplicados ao Problema de Empacotamento Rotacional de Polígonos Irregulares Não-Convexos em Recipientes Fechados**. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MARTINS, T.C.; TSUZUKI, M.S.G. **Simulated annealing applied to the irregular rotational placement of shapes over containers with fixed dimensions**. Expert Systems with Applications, 37, p.1955-1972, 2010.

MCCARTNEY, S. **Deckchair-striped cotton and silk-blend shorts**. [201-?]. 1 fotografia. Disponível em: <<http://www.theoutnet.com/product/179215>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

MEYGE, A. Varejo e confecção crescem, mas têxtil recua. **Valor Econômico**, São Paulo, jul. 2013. Disponível em:< <http://www.valor.com.br/empresas/3203308/varejo-e-confeccao-crescem-mas-industria-textil-recua#>>. Acesso em: 17 fev. 2014.

METROPOLIS, N.; ROSENBLUTH, A. W.; ROSENBLUTH, M. N.; TELLER, A. H.; TELLER, E. **Equation of State Calculations by Fast Computing Machines**. The Journal of Chemical Physics, 21, p. 1087-1092, 1953.

METROPOLIS, N; ULAM, S. **The Monte Carlo Method**. Journal of the American Statistical Association, 44, p. 335-341, 1949.

MLODINOW, L. **O Andar do bêbado**. Rio de Janeiro: Zahar, 2009.

MODA e Tecnologia. Produção de Paula Chrispiniano. [S.l]: GNT, 2014. 1 vídeo. Disponível em: < <http://globosatplay.globo.com/gnt/>>. Acesso em: 01 set. 2014.

MORRIS, B. **Fashion Illustrator**: manual do ilustrador de moda. São Paulo: Cosac Naify, 2007.

NIELSEN, J. Heuristic Evaluation, In Nielsen, J., and Mack, R.L (Eds.), **Usability Inspection Methods**, New York: John Wiley & Sons, 1994.

NIELSEN, B. K.; ODGAARD, A. **Fast Neighborhood Search for the Nesting Problem**. Technical Report. University of Copenhagen, Copenhagen, 2003.

OLIVEIRA, J. F. C.; FERREIRA, J. A. S. Algorithms for nesting problems. In: VIDAL, R.V.V. (Ed.). **Applied Simulated Annealing**. Berlin: Springer-Verlag, 1993. p. 255–273.

READERS DIGEST. **O Grande Livro da Costura**. Lisboa: Seleções do Reader's Digest, 1980. Disponível em: <<http://artesanatobrasil.net/o-grande-livro-da-costura-para-baixar/>>

PASTOUREAU, M. **O pano do diabo**: uma história das listras e dos tecidos listrados. Rio de Janeiro: Zahar, 1993.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos**: história, tramas, tipos e usos. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2007.

PRESS, W. H.; TEUKOLSKY, S. A.; VETTERLING, W. T.; FLANNERY, B. P. **Métodos Numéricos Aplicados**: Rotinas em C++. Porto Alegre: Bookman, 2011.

RATANAPAN, K.; DAGLI, C. H. Na object-based evolutionary algorithm for solving irregular nesting problems. In: Proceedings for Artificial Neural Networks in Engineering Conference, 7, 1997. **ASME Press**, New York, 1997, p. 383-388.

REWALD, F. G. **Tecnologia dos Nãotecidos**. São Paulo: LCTE Editora, 2006.

ROBERT, C. P.; CASELLA, G. **Introducing Monte Carlo Methods with R**. New York: Springer, 2010.

ROSA, S. **Alfaiataria**: modelagem plana masculina. Brasília: SENAC-DF, 2009.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: Campos, 2004.

RÜTHSCHILLING, E. A. **Design de Superfície**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008.

SABINO, M. **Dicionário da Moda**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

SATO, A. K.; MARTINS, T. C.; TSUZUKI, M. S. G. **An algorithm for the strip packing problem using collision free region and exact fitting placement.** *Computer-Aided Design*, 44, p.766–777, 2012.

SHACKEL, B.; RICHARDSON, S. **Human Factors for Informatics Usability,** Cambridge: Cambridge University Press, 1991

SHAO, W. GUO, G., MENG, F., JIA, S. **An eficiente proposal distribution for Metropolis-Hastings using a B-splines technique.** *Computational Statistics and Data Analysis*, 57, p. 465-478, 2013.

SISSONS, J. **Malharia.** Porto Alegre: Bookman, 2012.

SMITH, A. **The Sewing Book.** [S.l.]: Prentice Hall, 2009.

STECANELLA, V. Setor têxtil deve faturar menos em 2012 do que em 2011. **Istoé Dinheiro**, São Paulo, jan. 2013. Disponível em: <
[http://www.istoedinheiro.com.br/noticias/109931_SETOR+TEXTIL+DEVE+FATURA R+MENOS+EM+2012+DO+QUE+EM+2011](http://www.istoedinheiro.com.br/noticias/109931_SETOR+TEXTIL+DEVE+FATURA+R+MENOS+EM+2012+DO+QUE+EM+2011)> . Acesso em: 14 fev. 2014.

STOCKMEYER, L. **Optimal orientations of cells in slicing floorplan designs.** *Information and Control*, 57, p. 91-101, 1983.

TOLEDO, F. M. B.; CARRAVILLA, M. A.; RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, J. F.; GOMES, A. M. **The Dotted-Board Model: A new MIP model for nesting irregular shapes.** *Int. J. Production Economics*, 145, p. 478-487, 2013.

TREPTOW, D. **Inventando moda:** planejamento de coleção. São Paulo: Empório do Livro, 2013.

TYLER, D. J. **Carr and Latham's Technology of Clothing Manufacture.** Hong Kong: Blackwell Publishing, 2008.

UDALE, J. **Fundamentos de design de moda:** tecidos e moda. Porto Alegre: Bookman, 2009.

UTTAL, W. R. **On Seeing Forms.** London: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.

VINCE. **Breton stripe cashmere sweater**. [201-?]. 1 fotografia. Disponível em: <<http://www.matchesfashion.com/product/176604>>. Acesso em: 19 fev. 2014.

VICENT-RICARD, F. **As espirais da moda**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1989.

VOUDOURIS, C.; TSANG, E. **Guided local search**. Technical Report CSM-147, Department of Computer Science, University of Essex, Colchester, 1995.

WÄSCHER, G., HAUSSNER, H.; SCHUMANN, H. **An Improved Typology of Cutting and Packing Problems**. European Journal of Operational Research, 183, p.1109- 1130, 2007.

WHITLOCK, C.; CHRISTOFIDES, N. **An Algorithm for Two-Dimensional Cutting Problems**. Operations Research, 125, p. 30-44, 1977.

WONG, W. K.; WANG, W. W.; MOK, P. Y.; LEUNG, P. Y. S.; KWONG, C. K. **Solving the two-dimensional irregular objects allocation problems by using a two-stage packing approach**. Expert Systems with Applications, 36, p. 3489-3496, 2009.

YANG, X. S.; DEB, S. Cuckoo search via Lévy flights. In: 2009. **Proc. of World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC)**, 2009, India. IEEE Publications, USA, 2009, p. 210–214.

YATES, M. **Textiles: a handbook for designers**. New York: W. W. Norton & Company, 1995.

ZEGNA, E. **Sky blue striped dress shirt**. [201-?]. 1 fotografia. Disponível em: <<http://www.robertold.co.uk/ermenegildo-zegna-shirt-sky-blue-stripe.html>>. Acesso em 19 fev. 2014.

GLOSSÁRIO

ACABAMENTO: Incluem as últimas etapas, os retoques necessários para que uma peça fique pronta (CATELLANI, 2003).

BENEFICIAMENTO: Termo utilizado para todas as operações nos substratos têxteis que visam torná-los mais adequados para os desejados fins (CATELLANI, 2003).

BLAZER: Paletó leve e largo, de corte masculino, com comprimento até a altura da coxa, usado pelos homens desde o início do século XIX. No século XX, as mulheres também começaram a usar blazers (CATELLANI, 2003). A origem do nome veio do verbo em inglês *to blaze* (sobressair), devido os blazers terem sido confeccionados com tecidos listrados e estampados no século XIX (SABINO, 2007).

CARCELA: Peça de tecido em formato retangular, geralmente com casas para botões, que se costura de um dos lados da roupa para abotoar sobre o outro lado, onde estão os botões (ESCOLA SENAI, 1996).

CAVA: Curva na região da axila na qual a manga é costurada (JONES, 2011).

CORTE: Onde é realizada a operação de cortar. Deve-se seguir com precisão os riscos feitos, utilizando a máquina de corte adequada ao tecido a ser cortado. É preciso observar piques, aberturas, marcações e o comprimento dos piques (ESCOLA SENAI, 1996).

CÓS: Peça de tecido em formato de tira que é usado em algumas peças do vestuário, especialmente em saias e calças para fazer o arremate na cintura (CATELLANI, 2003).

COSTURA: Junção por meio de pontos de duas ou mais partes (CATELLANI, 2003).

ENCAIXE: Melhor maneira de aproveitamento dos materiais. Disposição das peças do molde no tecido, manualmente ou através de software específico, com o objetivo de

alcançar o menor desperdício possível de tecido na etapa de corte (CATELLANI, 2003; JONES, 2011).

ENCAIXE EM TECIDO XADREZ OU LISTRADO: As folhas de tecido devem ser colocadas para que as listras ou o xadrez fiquem emparelhados (ESCOLA SENAI, 1996).

ENFESTO DE TECIDO: Processo pelo qual os tecidos são dispostos um em cima do outro formando uma pilha em cima da mesa de corte. O fio do tecido deve ser obedecido e nunca devem ser enfestados tecidos de duas peças diferentes, pois pode ocorrer diferenças de tonalidades (CATELLANI, 2003).

ENVIEZADO: Corte feito na diagonal dos tecidos (CATELLANI, 2003).

ESPELHO DO BOLSO: Parte do bolso que fica com uma porção aparente na roupa e outra escondida (ROSA, 2009).

ESTAMPA: Desenho ou figura que é aplicado através de tintas ou pigmentos empregados em rolos, blocos ou telas (CATELLANI, 2003).

ESTAMPADO: Tecido que exhibe uma determinada estampa (ESCOLA SENAI, 1996).

FIBRA: Natural ou artificial matéria-prima das quais os tecidos são feitos (YATES, 1995).

FIO: Termo genérico utilizado para denominar cordões de fibras têxteis, filamentos ou outro material utilizado para tecer ou para ser entrelaçado (CATELLANI, 2003).

FIO (do molde): Indicação marcada no molde e pela a qual o mesmo deve ser colocado sobre o tecido, de acordo com a direção correta da trama e do urdume. Tecidos fabricados em tear têm um fio da largura (trama), um fio do comprimento (urdume) e um viés de 45° (JONES, 2011; CATELLANI, 2003).

FIO TINTO: Assim denominam-se os fios coloridos e tecidos obtidos pela utilização de fios tintos (CATELLANI, 2003).

FIOS: Conjunto de fibras cuja finalidade principal é a produção de tecidos, caracterizam-se pelo comprimento elevado e pequena espessura. Podem ser constituídos por fibras naturais, artificiais ou sintéticas (ROSA, 2009).

GOLA: Parte que compõem o vestuário. Situa-se no decote da peça junto e em volta do pescoço (CATELLANI, 2003).

GRADUAÇÃO DOS MOLDES: Processo no qual uma série consecutiva de tamanhos de um modelo são produzidos a partir de um tamanho pré-determinado denominado de molde base (ROSA, 2009).

LISTRAS: Os tecidos com listras já significaram sinal de situação à margem ou fora da ordem social. Roupas com listras rotularam pessoas loucas, banidas da sociedade ou com doenças contagiosas. Tornaram-se aceitas na Europa apenas no século XV. No século XIX, foram empregadas em vestidos e em roupas masculinas. Por terem sido muito usadas por marinheiros e em roupas de banho de mar, a partir do final do século XIX, as listras nas cores azul e branca, tornaram-se um clássico da moda e estilo náutico (SABINO, 2007).

MESA DE CORTE: Móvel de madeira ou metal com a superfície lisa para facilitar o deslocamento da máquina de corte (ESCOLA SENAI, 1996).

MODELAGEM: Processo de construção dos moldes que vão permitir o corte e a reprodução de peças de roupa. O profissional responsável por essa tarefa é o modelista (CALDAS, 1999). Ato de criar os moldes das diferentes partes que constituem uma peça (CATELLANI, 2003).

MODELO: Conjunto de moldes que formam uma peça do vestuário (ROSA, 2009).

MOLDE: Guia para a criação de peças iguais ou similares. Uma peça do vestuário (ou modelo) é composta de um conjunto de moldes (MORRIS, 2007).

OURELA: Borda lateral, no sentido do comprimento do tecido. Geralmente elas são construídas com o dobro da densidade do próprio fundo do tecido ou com fios retorcidos (PEZZOLO, 2007).

PALA: Parte superior de peças do vestuário que cobrem o peito, porém também pode ser usada para denominar partes superiores de saias e calças (CATELLANI, 2003).

PEÇA-PILOTO (ou protótipo): Peça confeccionada para testes e visualização do modelo, se aprovada serve de padrão (junto com uma ficha de especificações) para a confecção das outras peças da produção (JONES, 2011).

PENCE: Similar a uma prega, que afunila em uma ou nas duas extremidades, costurada para ajustar o tecido às formas do corpo (JONES, 2011).

PIQUE: Corte nos ângulos ou nas curvas realizado na margem de costura para evitar do tecido embolar ou para que a costura não repuxe após passar a ferro a roupa (JONES, 2011).

PIQUES: Marcações feitas nas margens de costura dos moldes para identificar a localização de costuras e pontos (JONES, 2011).

PRESILHA (ou Passante): Faixa, geralmente confeccionada em sarja, usada como alça (JONES, 2011).

PUNHO: Parte final das mangas que segue o contorno do pulso (CATELLANI, 2003).

RECORTE: Divisão de moldes em duas ou mais partes. São usados para dar melhor caimento à peça, ajustando-a ao corpo ou agregando uma quantidade maior de tecido (CATELLANI, 2003).

REVEL: Parte interna da abertura da frente de mantôs e casacos. Também é usado como sinônimo de limpeza (CATELLANI, 2003).

SAIA: Peça do vestuário que inicia na região da cintura e desce podendo ter diferentes comprimentos (CATELLANI, 2003).

SENTIDO ÚNICO: Alguns tipos de tecidos precisam ser cortados seguindo sempre a mesma direção, entre eles pode-se citar alguns tipos de estampados e felpudos (JONES, 2011).

SUÉTER: Blusa ou camisa de mangas longas, confeccionado em tricô ou malha de lã, com comprimento na altura da cintura ou um pouco abaixo dela (CATELLANI, 2003).

TECIDO: Produto artesanal ou industrial que resulta do entrelaçamento regular de fios verticais e horizontais (PEZZOLO, 2007).

TÊXTIL: Termo utilizado para todas as fases de fabricação de produtos derivados de fibras ou filamentos. Abrange tecidos planos, malhas e artigos do vestuário. É imprescindível que os produtos mantenham as características de maleabilidade dos tecidos originais (CATELLANI, 2003).

TRAMA: é constituída pelos fios que se encontram no sentido transversal do tecido, e é representada pela unidade de largura (VICENT-RICARD, 1989).

TRANSPASSE: Parte de tecido que fica sobreposta a outra, geralmente na região frontal da roupa. Como, uma saia-envelope ou uma lapela larga cruzada na frente da roupa, com duas fileiras simétricas de botões (JONES, 2011).

URDUME: é constituído pelos fios que se encontram no sentido longitudinal do tecido, e é representado pela unidade de comprimento (VICENT-RICARD, 1989).

APÊNDICE A

Esta seção descreve o conjunto de dados sobre o problema Camisa masculina para que seja possível a realização de novos testes por outros autores. A Tabela 16 fornece informações sobre o problema proposto. Abaixo da tabela e para cada molde é descrito a quantidade de vezes que a peça deve ser encaixada, o número total de vértices, as coordenadas X e Y e a posição do ponto de coincidência. Ao final, são mostrados os desenhos dos moldes (fig. 181).

Tabela 16 – Característica do problema camisa masculina

Problema	Quantidade de moldes diferentes	Quantidade total de moldes	Orientações permitidas	Largura do tecido
Camisa masculina	12	18	0°, 180°	160

Fonte: a Autora

Peça 1 - Bolso

Quantidade: 1

Número de vértices: 4

X = 0.0000 Y = 0.0000

X = 14.0000 Y = 0.0000

X = 14.0000 Y = 13.0000

X = 0.0000 Y = 13.0000

Posição do ponto de coincidência: X = 0.0000 Y = 4.0000

Peça 2 – Carcela direita

Quantidade: 1

Número de vértices: 5

X = 4.0000 Y = 0.0000

X = 16.0000 Y = 0.0000

X = 16.0000 Y = 6.0000

X = 2.0000 Y = 6.0000

X = 0.0000 Y = 4.0000

Posição do ponto de coincidência: X = 4.0000 Y = 0.0000

Peça 3 – Carcela esquerda

Quantidade: 1

Número de vértices: 5

X = 2.0000 Y = 0.0000

X = 16.0000 Y = 0.0000

X = 16.0000 Y = 6.0000

X = 4.0000 Y = 6.0000

X = 0.0000 Y = 2.0000

Posição do ponto de coincidência: X = 4.0000 Y = 6.0000

Peça 4 – Pé de colarinho

Quantidade: 2

Número de vértices: 25

X = 0.8128 Y = 0.0000

X = 2.5394 Y = 0.2290

X = 4.6113 Y = 0.5037

X = 7.1646 Y = 0.6926

X = 9.7866 Y = 0.7784

X = 34.2134 Y = 0.7784

X = 35.4685 Y = 0.7612

X = 38.2023 Y = 0.6239

X = 40.6954 Y = 0.3320

X = 42.9478 Y = 0.0744

X = 44.0000 Y = 0.2695

X = 43.9451 Y = 1.9889

X = 43.0682 Y = 2.5126

X = 41.3316 Y = 2.9247

X = 43.0682 Y = 2.5126

X = 41.3316 Y = 2.9247

X = 37.7209 Y = 3.3712

X = 34.7636 Y = 3.6116

X = 32.0000 Y = 3.7695

X = 12.0000 Y = 3.7695

$$X = 7.9125 \quad Y = 3.5257$$

$$X = 4.6457 \quad Y = 3.2166$$

$$X = 2.6684 \quad Y = 2.9247$$

$$X = 0.6567 \quad Y = 2.4268$$

$$X = 0.0033 \quad Y = 1.8258$$

$$\text{Posição do ponto de coincidência: } X = 12.0000 \quad Y = 3.7695$$

Peça 5 – Costas

Quantidade: 1

Número de vértices: 35

$$X = 17.0776 \quad Y = 0.0000$$

$$X = 19.8991 \quad Y = 0.2974$$

$$X = 38.4617 \quad Y = 1.1896$$

$$X = 54.2028 \quad Y = 0.7435$$

$$X = 61.8591 \quad Y = 0.0000$$

$$X = 62.0733 \quad Y = 2.2305$$

$$X = 62.8158 \quad Y = 4.1637$$

$$X = 64.5978 \quad Y = 5.7994$$

$$X = 66.3798 \quad Y = 7.1377$$

$$X = 67.0187 \quad Y = 9.7351$$

$$X = 67.0187 \quad Y = 48.3951$$

$$X = 66.3798 \quad Y = 50.9925$$

$$X = 64.5978 \quad Y = 52.3308$$

$$X = 62.8158 \quad Y = 53.9666$$

$$X = 62.0733 \quad Y = 55.8997$$

$$X = 61.9289 \quad Y = 58.0679$$

$$X = 44.9957 \quad Y = 56.9406$$

$$X = 38.4617 \quad Y = 56.9406$$

$$X = 17.0776 \quad Y = 58.1302$$

$$X = 16.6321 \quad Y = 56.0484$$

$$X = 14.7016 \quad Y = 53.8179$$

$$X = 12.7711 \quad Y = 52.9256$$

$$X = 9.3555 \quad Y = 52.4795$$

X = 6.0885 Y = 52.4795

X = 1.1880 Y = 53.0743

X = 0.5940 Y = 51.7360

X = 0.0000 Y = 47.2750

X = 0.0000 Y = 10.8552

X = 0.5940 Y = 6.3942

X = 1.1880 Y = 5.0559

X = 6.0885 Y = 5.6507

X = 9.3555 Y = 5.6507

X = 12.7711 Y = 5.2046

X = 14.7016 Y = 4.3124

X = 16.6321 Y = 2.0818

Posição do ponto de coincidência: X = 0.0000 Y = 29.0651

Peça 6 – Frente direita

Quantidade: 1

Número de vértices: 30

X = 5.9982 Y = 0.0000

X = 72.0593 Y = 0.0000

X = 72.0593 Y = 27.5571

X = 70.6653 Y = 29.7284

X = 69.5811 Y = 31.1243

X = 69.1164 Y = 32.8304

X = 68.9799 Y = 35.6734

X = 68.9982 Y = 36.5000

X = 59.5133 Y = 35.7773

X = 48.5162 Y = 35.4671

X = 42.9402 Y = 35.3120

X = 33.8017 Y = 35.6222

X = 24.0437 Y = 36.5528

X = 23.8888 Y = 35.4671

X = 22.9595 Y = 32.8304

X = 21.7204 Y = 31.7447

X = 19.0873 Y = 30.8141

X = 15.6797 Y = 30.3488

X = 11.0330 Y = 30.5039

X = 7.0059 Y = 30.9692

X = 4.5982 Y = 31.5000

X = 0.0000 Y = 14.0070

X = 0.9652 Y = 13.7533

X = 3.3466 Y = 12.6625

X = 5.3021 Y = 10.6513

X = 5.9897 Y = 7.4725

X = 5.9982 Y = 6.0000

X = 5.9820 Y = 4.2688

X = 5.8803 Y = 2.9623

X = 5.9982 Y = 1.5000

Posição do ponto de coincidência: X = 5.9897 Y = 7.4725

Peça 7 – Frente esquerda

Quantidade: 1

Número de vértices: 36

X = 24.0437 Y = 0.0000

X = 33.8017 Y = 0.9306

X = 42.9402 Y = 1.2408

X = 48.5162 Y = 1.0857

X = 59.5133 Y = 0.7755

X = 68.9982 Y = 0.0528

X = 68.9616 Y = 1.7061

X = 69.1165 Y = 3.7224

X = 69.5811 Y = 5.4285

X = 70.6653 Y = 6.8243

X = 71.5947 Y = 7.7549

X = 72.0593 Y = 8.9957

X = 72.0593 Y = 36.5528

X = 5.9982 Y = 36.5528

$$X = 5.9982 \quad Y = 35.0528$$

$$X = 5.8804 \quad Y = 33.5905$$

$$X = 5.9820 \quad Y = 32.2840$$

$$X = 5.9982 \quad Y = 30.5528$$

$$X = 5.9982 \quad Y = 29.0803$$

$$X = 5.9812 \quad Y = 28.3579$$

$$X = 5.8552 \quad Y = 27.5528$$

$$X = 5.3022 \quad Y = 25.9015$$

$$X = 4.5277 \quad Y = 24.6607$$

$$X = 3.3466 \quad Y = 23.8903$$

$$X = 1.7397 \quad Y = 23.1097$$

$$X = 0.9653 \quad Y = 22.7995$$

$$X = 0.0000 \quad Y = 22.5458$$

$$X = 4.5982 \quad Y = 5.0528$$

$$X = 7.0059 \quad Y = 5.5836$$

$$X = 11.0330 \quad Y = 6.0489$$

$$X = 15.6797 \quad Y = 6.2040$$

$$X = 19.0873 \quad Y = 5.7387$$

$$X = 21.7204 \quad Y = 4.8081$$

$$X = 22.9595 \quad Y = 3.7224$$

$$X = 23.5791 \quad Y = 2.0163$$

$$X = 23.8888 \quad Y = 1.0857$$

Posição do ponto de coincidência: $X = 5.9897 \quad Y = 29.0803$

Peça 8 – Gola colarinho

Quantidade: 1

Número de vértices: 27

$$X = 1.0503 \quad Y = 0.0000$$

$$X = 2.0300 \quad Y = 0.2381$$

$$X = 3.7105 \quad Y = 0.4689$$

$$X = 6.1383 \quad Y = 0.7677$$

$$X = 9.4387 \quad Y = 1.0111$$

$$X = 10.8710 \quad Y = 1.1155$$

X = 21.0420 Y = 1.1549

X = 31.1781 Y = 1.1941

X = 32.6111 Y = 1.1008

X = 35.9134 Y = 0.8830

X = 38.3433 Y = 0.6030

X = 40.0256 Y = 0.3853

X = 41.0191 Y = 0.2324

X = 42.0071 Y = 6.6548

X = 41.2406 Y = 6.4831

X = 39.5583 Y = 6.2342

X = 37.1595 Y = 5.9231

X = 35.1969 Y = 5.7675

X = 32.9538 Y = 5.7053

X = 31.0071 Y = 5.6548

X = 21.0071 Y = 5.6548

X = 11.0074 Y = 5.5773

X = 9.0604 Y = 5.6127

X = 6.8169 Y = 5.6576

X = 4.8531 Y = 5.7979

X = 2.4520 Y = 6.0905

X = 0.7678 Y = 6.3263

Posição do ponto de coincidência: X = 1.0503 Y = 0.0000

Peça 9 – Manga direita

Quantidade: 1

Número de vértices: 35

X = 9.9287 Y = 0.0000

X = 13.3387 Y = 1.5139

X = 18.0181 Y = 2.5391

X = 24.7413 Y = 3.0777

X = 30.3887 Y = 3.7509

X = 37.6498 Y = 4.8281

X = 47.3311 Y = 6.3092

X = 62.9287 Y = 9.0000
X = 62.9287 Y = 37.0000
X = 47.7059 Y = 39.5850
X = 39.6667 Y = 40.9131
X = 33.8848 Y = 41.9902
X = 27.6995 Y = 42.6635
X = 21.3797 Y = 43.0674
X = 14.2711 Y = 44.2122
X = 9.8621 Y = 45.3709
X = 9.0090 Y = 42.1249
X = 7.6644 Y = 39.7013
X = 6.7232 Y = 38.3548
X = 4.5718 Y = 35.3926
X = 3.2271 Y = 33.5076
X = 2.0170 Y = 31.6225
X = 0.9412 Y = 29.3336
X = 0.2689 Y = 26.6406
X = 0.0000 Y = 25.0249
X = 0.0000 Y = 22.0627
X = 0.6723 Y = 19.1005
X = 1.3446 Y = 17.0808
X = 2.6372 Y = 14.4144
X = 4.3028 Y = 11.8296
X = 5.8561 Y = 9.7461
X = 7.2610 Y = 7.6556
X = 8.3367 Y = 5.7706
X = 9.1435 Y = 4.0202
X = 9.6814 Y = 2.2698

Posição do ponto de coincidência: X = 9.8129 Y = 45.3838

Peça 10 – Manga esquerda

Quantidade: 1

Número de vértices: 37

X = 9.8621 Y = 0.0000
X = 14.2711 Y = 1.1716
X = 21.3797 Y = 2.3164
X = 27.6995 Y = 2.7203
X = 33.8848 Y = 3.3935
X = 39.6667 Y = 4.4707
X = 47.7059 Y = 5.7988
X = 62.9287 Y = 8.3838
X = 62.9287 Y = 36.3838
X = 47.3311 Y = 39.0746
X = 37.6498 Y = 40.5557
X = 30.3887 Y = 41.6329
X = 24.7413 Y = 42.3061
X = 18.0181 Y = 42.8447
X = 13.3387 Y = 43.8699
X = 9.9287 Y = 45.3838
X = 9.8158 Y = 44.4604
X = 9.6814 Y = 43.1140
X = 9.1435 Y = 41.3636
X = 8.3367 Y = 39.6132
X = 7.2610 Y = 37.7281
X = 5.8561 Y = 35.6376
X = 4.3028 Y = 33.5541
X = 2.6372 Y = 30.9694
X = 1.3446 Y = 28.3030
X = 0.6723 Y = 26.2833
X = 0.0000 Y = 23.3211
X = 0.0000 Y = 20.3589
X = 0.2689 Y = 18.7431
X = 0.9412 Y = 16.0502
X = 2.0170 Y = 13.7612
X = 3.2271 Y = 11.8762
X = 4.5718 Y = 9.9912

$$X = 6.7232 \quad Y = 7.0290$$

$$X = 7.6644 \quad Y = 5.6825$$

$$X = 9.0090 \quad Y = 3.2589$$

$$X = 9.6814 \quad Y = 0.7006$$

$$\text{Posição do ponto de coincidência: } X = 9.8621 \quad Y = 0.0000$$

Peça 11 – Pala

Quantidade: 2

Número de vértices: 16

$$X = 1.1324 \quad Y = 0.0000$$

$$X = 49.4660 \quad Y = 0.0000$$

$$X = 50.5985 \quad Y = 7.0265$$

$$X = 33.2992 \quad Y = 12.0000$$

$$X = 32.9989 \quad Y = 10.6841$$

$$X = 32.3425 \quad Y = 9.6044$$

$$X = 29.7940 \quad Y = 8.2933$$

$$X = 28.4039 \quad Y = 8.0620$$

$$X = 26.9366 \quad Y = 7.9848$$

$$X = 22.1945 \quad Y = 8.0620$$

$$X = 20.8045 \quad Y = 8.2933$$

$$X = 19.3372 \quad Y = 8.8717$$

$$X = 18.2560 \quad Y = 9.6044$$

$$X = 17.5996 \quad Y = 10.6841$$

$$X = 17.2272 \quad Y = 11.9793$$

$$X = 0.0000 \quad Y = 7.0265$$

$$\text{Posição do ponto de coincidência: } X = 17.2272 \quad Y = 11.9793$$

Peça 12 – Punho

Quantidade: 4

Número de vértices: 4

$$X = 0.0000 \quad Y = 0.0000$$

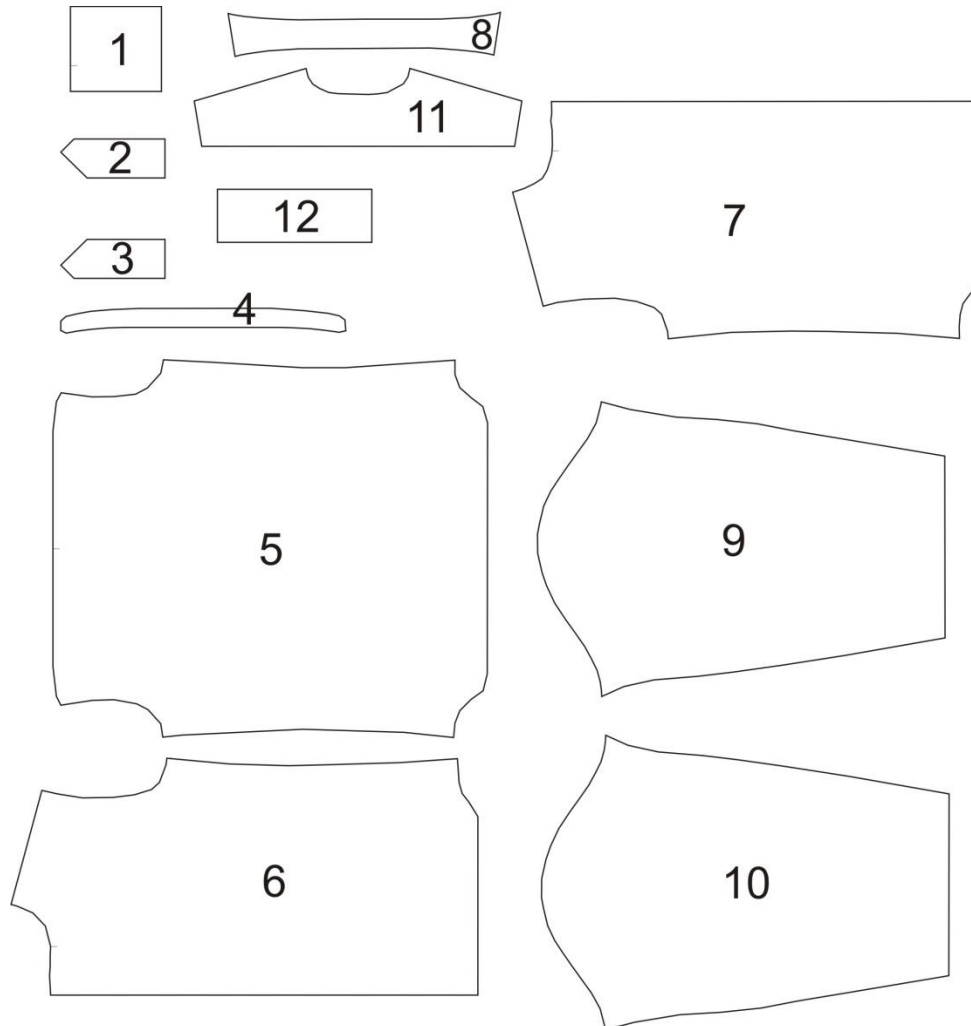
$$X = 24.0000 \quad Y = 0.0000$$

$$X = 24.0000 \quad Y = 8.0000$$

X = 0.0000 Y = 8.0000

Posição do ponto de coincidência: X = 0.0000 Y = 0.0000

Figura 181 - Desenho dos moldes da camisa masculina



Fonte: a Autora