



OTIMIZAÇÃO DAS PERDAS EM CORTES GUILHOTINADOS PARA BOBINAS DE AÇO NA INDÚSTRIA METALMECÂNICA

José Aélío Silveira Júnior

Mestrado em Informática Aplicada - MIA

Esmaltec S/A

Avenida Parque Oeste, 2130, CEP 61939-120, Maracanaú – CE, Brasil

aelio@esmaltec.com.br

Plácido Rogério Pinheiro

Universidade de Fortaleza – UNIFOR

Mestrado em Informática Aplicada - MIA

Avenida Washington Soares, 1321 CEP 60811-341, Fortaleza -CE, Brasil

placido@unifor.br

Antonio Clécio Fontenelle Thomaz

Universidade Estadual do Ceará

Avenida Paranjana, 1700, CEP 60740-000, Fortaleza -CE, Brasil

clecio@larces.uece.br

RESUMO

Aborda-se problema de corte guilhotinado e seleção em estoque de bobinas de aço da Indústria Metalmeccânica, onde apresenta-se um modelo em programação linear inteira que está dividida em duas etapas seqüenciais : a primeira é um modelo de otimização dos comprimentos dos planos de corte que visam minimizar as perdas; a segunda, um modelo de seleção de bobinas em estoque que atende a demanda minimizando os excedentes de produção. A partir desses modelos, apresenta-se um modelo global que envolve as duas etapas de otimização (comprimentos dos planos de corte e seleção em estoque). Em seguida, são mostrados os resultados computacionais de alguns testes comparativos entre os modelos.

Palavra-chave: Programação Linear Inteira, Problemas de Corte Guilhotinado, Bobinas de Aço

ABSTRACT

The issues of guillotine cut and in-stock steel rolls selection of metalmechanic steel industry are approached, where an integer linear programming model is introduced, which is divided in two stages: the first one is an optimization model for the lengths of the cutting plans, which is intended to minimize the loss; The second one is the in-stock steel rolls selection that attains the demands by minimizing the exceeding production. Based on those models, a global model is introduced which involves both optimization stages (lengths of the cutting plans and in-stock selection). Further, computational results of some comparative tests among the models.

Key-words: Integer Linear Programming, Guillotine Cut Problem, Steel Roll

1. Introdução

Os problemas de corte, seleção de bobina e estoque, são problemas de otimização combinatória que ocorrem em muitos processos industriais. A primeira documentação para este tipo de problema ocorreu na indústria de papel, em 1939, pelo economista russo Kantorovich [12]. Gilmore e Gomory [1] introduziram em 1961, a técnica de geração de coluna para resolver o problema de corte unidimensional usando Programação Linear (PL). Em 1971, Haessler [5], depois de pesquisar como programadores enfrentavam problemas reais em fábricas de papel, propôs um procedimento heurístico. Os problemas de corte unidimensionais podem ser divididos em duas categorias: heurísticas e métodos baseados em programação linear (PL). Golden [2], Hinxman, Haessler e Sweeney [3] deram excelentes ajudas em várias soluções de preparação.

O corte de bobinas de aço é um exemplo onde aparecem padrões compartimentados unidimensionais, pois, alguns itens devem sofrer laminações distintas. Neste caso é preciso definir compartimentos que são denominados por bobinas blanks. HOTO [6,7,9] descrevem padrões compartimentados unidimensionais por meio de um Problema da Mochila Compartimentada (PMC) HOTO [11], que é uma nova variação do clássico problema da Mochila. Marques & Arenales [13, 14] estudaram o caso restrito do PMC e apresentaram alguns procedimentos heurísticos.

Tem-se como objetivo realizar um estudo comparativo entre os modelos propostos para corte guilhotinado em bobinas de aço na indústria. Para a solução do problema foram definidos dois modelos utilizando Programação Linear, que resolve seqüencialmente o corte guilhotinado das bobinas e em seguida a seleção em estoque. Procura-se agora ampliar este estudo através de aplicações na indústria utilizando um único modelo global (Corte e Seleção). Como aplicação, este processo é considerado de produção crítica, uma vez que estas perdas podem chegar a grandes proporções, aumentando o custo para a Indústria, o que constitui um importante componente na formação do custo final dos produtos.

2. O problema de corte guilhotinado

Os problemas de corte aparecem em ambientes de produção de algumas indústrias, tais como: papel, móveis, vidro, metalúrgica, plástica, têxtil, etc. Estas indústrias deparam-se, freqüentemente, com o problema de cortar peças grandes (objetos) para a produção de pedaços menores (itens), requeridos internamente por outros setores da empresa ou por clientes externos (demandas). As metas tradicionais para problemas de corte são minimizar as perdas ou o valor do custo, sendo necessário planejar os padrões de corte para amenizar os efeitos negativos, como o desperdício que onera os custos de produção, MASSARU [15].

No ramo de metalurgia as bobinas de aço são identificadas pelo seu “peso” (varia de 12.000 Kg a 14.000 Kg), sua largura (varia de 1000 mm a 1300 mm), espessura do aço (varia de 0,50 mm a 1,55mm) e pelo teor de carbono na liga, que determinará a dureza do aço. A demanda é composta por tiras de especificações determinadas (largura, espessura e tipo de aço) que devem ser cortadas de uma bobina de estoque. HOTO [10].

Considere a seguinte aplicação:

”Uma indústria de aço mantém em estoque um número suficientemente grande de bobinas de comprimento L que devem ser cortadas em tiras menores de comprimentos l_i para atender uma demanda d_i , $i = 1, \dots, n$. (veja Fig. 1)”



Fig. 1 - Bobinas em estoque com largura L.

Após o corte (veja Fig. 2), as bobinas são “rebobinadas” pela própria máquina Slitter, dando origem às tiras que serão referenciadas como *bobinas blanks*.(veja Fig.3).

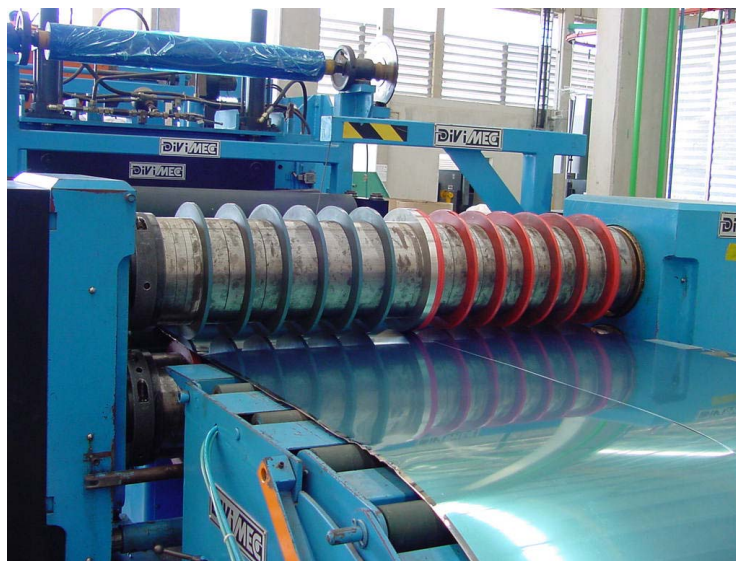


Fig. 2 - Máquina Slitter realizando corte de bobinas com largura L.



Fig. 3 – Bobinas blanks de largura l_i (geradas após o corte da bobina de largura L).

Nesta etapa a bobina blank pode seguir dois caminhos: ser armazenada no estoque das bobinas blanks (bobinas já cortadas) ou ser direcionada a produção onde sofrerão um segundo corte nas máquinas blanqueadeiras, dando origem aos blanks. (veja Fig. 4). A bobina blank quando estocada em média por 2 meses e de volta a produção, produz uma perda aproximada de 1%. Esta perda é provocada por alguns fatores como oxidação.

Podem-se chamar de blanks, as chapas já cortadas nas dimensões (largura e comprimento) necessárias à produção de uma peça, porém, ainda sem acabamentos.



Fig. 4 – Corte da bobina blank na máquina Blanqueadeira dando origem aos blanks.

Devido às larguras diferenciadas dos blanks (peças), as bobinas podem ser cortadas de diferentes maneiras. Dessa forma deve-se definir um *padrão de corte* para cada bobina a ser cortada. (veja Fig. 5).

Denomina-se por padrão de corte cada combinação possível de peças menores (itens) dentro de peças grandes (objeto).

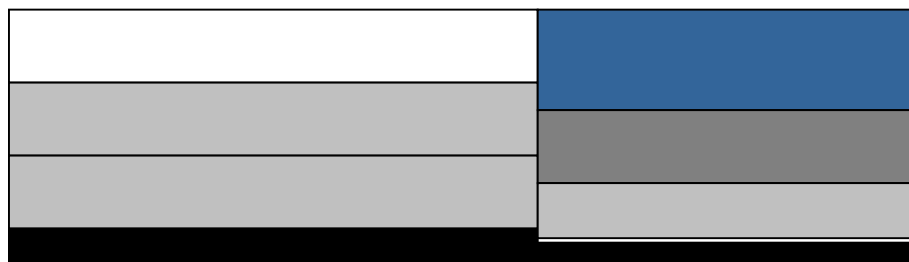


Fig. 5- Padrão de corte.

O problema de corte é resolvido determinando-se os padrões de corte a serem utilizados de forma a otimizar uma função objetiva.

Unidade	Planos Viáveis (gerados de acordo com os limites da peça)					Comprimento Desejado
Bobina Blank	Plano 1	Plano 2	...	...	Plano n	
Blank 1	a_{11}	a_{12}	...	...	a_{1n}	L_1
Blank 2	a_{21}	a_{22}	...	...	a_{2n}	
.	.	.	...	...	.	L_2
.	
.	
Blank m	a_{m1}	a_{m2}	...	...	a_{mn}	l_m
Perdas	P_1	P_2	...	...	p_n	

Tabela 1 – Disposição dos planos viáveis de forma a atender a demanda.

3. Corte das Bobinas de Aço

Apresenta-se o modelo seqüencial para solução dos problemas de corte guilhotinado e seleção de bobinas em estoque. Em seguida, uma formulação global (P_{corte} e P_{sel}) do modelo objetivando otimizar o estoque de bobinas blanks e as perdas por oxidação.

A Esmaltec S/A, do Grupo Edson Queiroz, foi à empresa colaboradora do projeto fornecendo dados reais do seu plano de produção, objetivando os testes computacionais e verificação da eficiência do modelo.

3.1. O modelo de corte guilhotinado

A partir de um bobina B , de largura ℓ , contínua, deseja-se cortar I bobinas blanks bl_i de largura $\ell_i \leq \ell$, e de comprimento L_i , $i = 1, \dots, I$. Cada bobina blank bl_i sofrerá em seguida um corte guilhotinado para dar finalmente peças de comprimento pas_i . É necessário, então, determinar o valor de L , comprimento total de B , assim como “os planos de corte” utilizados. Estes “planos de corte” são somente as diferentes possibilidades de disposição das n bobinas blanks bl_i na largura da bobina principal B . A cada “plano de corte” s , associamos $n_i(s)$, $i = 1, \dots, I$, o número de bobinas blanks tipo bl_i contidos em s . Designaremos por bobina, o rolo principal B , e por bobinas blanks, os I rolos de bl_i a cortar.

DEFINIÇÃO 1: Um plano de corte s , é dito possível se a soma das larguras das bobinas blanks bl_i que o compõe é inferior a largura ℓ da bobina B , seja:

$$\sum_{i=1}^I n_i(s) * \ell_i \leq \ell \quad (1)$$

Denota-se por $p(s)$, a perda correspondente a este plano, ou seja, a parte não utilizada da largura da bobina principal. O valor de $p(s)$ é dado por:

$$p(s) = \ell - \sum_{i=1}^I n_i(s) * \ell_i \quad (2)$$

A partir da equação (2), pode-se deduzir que um plano de corte s é dito possível se $p(s) \geq 0$.

DEFINIÇÃO 2: Um plano de corte s é dito viável se ele é possível e se ainda, $p(s)$ é inferior a menor largura das bobinas blanks bl_i .

$$p(s) \leq \min_{i=1, \dots, I} \{ \ell_i \}. \quad (3)$$

CONSEQUÊNCIA: Um plano de corte s é viável se

$$0 \leq p(s) \leq \min_{i=1, \dots, I} \{ \ell_i \} \quad (4)$$

Denotado por x_{bj} o comprimento ótimo dos planos de corte necessários para atender a demanda L , o problema de corte das bobinas de aço pode ser formulado como:

$$\left(P_{\text{corte}} \right) \begin{cases} z(\text{mín}) = \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J \left(p_{bj} + \sum_{i=1}^I \frac{n_{ij}}{pas_i} \right) * x_{bj} & (5) \\ \text{sujeito a :} \\ \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J n_{ij} * x_{bj} \geq L_i, i = 1, \dots, I & (6) \\ x_{bj} \geq 0, j = 1, \dots, J. \end{cases}$$

- J corresponde ao número de planos de corte viáveis;
- B corresponde ao número de tipos de bobinas;
- I corresponde aos tipos de peças necessários para a atender a demanda;
- x_{bj} o comprimento do plano de corte s_j , $j = 1, \dots, J$ na bobina B ;
- $p_{bj} = p(s_j)$, corresponde a perda associada ao plano J (s_j , $j = 1, \dots, J$) na bobina B ;
- $n_{ij} = n_i(s_j)$, indica a quantidade de tiras da peça i do plano j ;
- L_i indica quantidade de peças necessárias para atender a demanda;
- pas_i dependendo da escolha plano, poderá ser a largura ou comprimento da peça;

A restrição (6) corresponde aos comprimentos mínimos a cortar para cada tipo de peça, de forma que atenda a demanda L_i . A função objetivo (5) procura minimizar a perda superficial total (p_j), e excedente de peças obtidas, representadas pelo termo $(\sum_{i=1}^I \frac{n_{ij}}{pas_i})$.

DEFINIÇÃO 3: (P_{corte}) é dito realizável (ou seja, bem definido) se para todo tipo de bobina b_i existir um plano de corte s_j , tal que, $n_{ij} > 0$.

Se (P_{corte}) é realizável, obtém-se como solução uma base de comprimentos de planos de corte (s_1, \dots, s_K) que só necessita-se somar para obter C , comprimento teórico total da bobina B a cortar:

$$C = \sum_{j=1}^J x_j = \sum_{k=1}^K s_k \quad (7)$$

3.2. Seleção das bobinas em estoque

Uma vez encontrado o comprimento dos planos ótimos, precisa-se informar quais as bobinas devem ser selecionadas em estoque de forma que possamos cortar com o menor excedente de produção (bobinas blanks). Portanto, foi necessário modelar o problema de seleção das bobinas a cortar dentre as disponíveis no estoque.

3.2.1. Um modelo de seleção de bobinas (B);

Ressalta-se a existência de condições de funcionamento operacional da máquina encarregada do corte das bobinas. Uma das condições mais importantes é a seguinte: uma vez um corte iniciado, a máquina (*slitter*) pode parar em qualquer momento, mas a operação que consiste em modificar (trocar) as lâminas de posição é muito demorada. Deve-se então, propor um modelo no qual seja considerado que a máquina só pode parar quando toda a bobina for cortada. O inconveniente maior desta tentativa é que na prática ela gera novos excessos de produção (bobinas blanks).

$$\left. \begin{array}{l}
 z(\text{mín}) = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (T_k * y_{jk} - x_{jk}) \\
 \text{sujeito a:} \\
 \sum_{k=1}^K x_{jk} \geq C_j, j = 1, \dots, J, \quad (8) \\
 \sum_{j=1}^J x_{jk} \leq T_k, k = 1, \dots, K, \quad (9) \\
 \sum_{j=1}^J y_{jk} \leq 1, k = 1, \dots, K, \quad (10) \\
 \begin{cases} x_{jk} - \text{fator_mir} * T_k * y_{jk} \geq 0, \\ T_k * y_{jk} - x_{jk} \geq 0, \end{cases} \quad j = 1, \dots, J, \quad k = 1, \dots, K \quad (11) \\
 x_{jk} \geq 0, j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K \\
 y_{jk} \geq 0, j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K
 \end{array} \right\} (P_{\text{sel}})$$

Onde:

- C_j é o comprimento do plano de corte s_j , $j = 1, \dots, J$ encontrado em P_{corte} ;
- T_k é o comprimento da bobina b_k disponível em estoque;
- x_{jk} é o comprimento do plano j a ser cortado efetivamente da bobina b_k ;
- y_{jk} é igual a 1 se a bobina b_k pelo plano j , e igual a 0 em caso contrário;
- *fator_min* é um parâmetro que informa o percentual mínimo a ser cortado da bobina b_k pelo plano j ;

A restrição (8) assegura que o comprimento total a ser cortado da bobina b_k por um plano de corte j , atenda ao comprimento obtido pelo modelo (P_{corte}). Na restrição (9) impõe-se que o comprimento x_{jk} a ser efetivamente cortado da bobina b_k seja menor que o comprimento total da bobina em estoque (T_k). A condição (11) impõe o comprimento mínimo a ser cortado da bobina b_k (dado um fator mínimo), e que o comprimento máximo a ser cortado não ultrapasse os comprimentos das bobinas b_k em estoque (T_k).

3.3. Um Modelo global integrando corte e seleção de bobinas

A seguir, apresentam-se algumas motivações para aplicação de um modelo global envolvendo o problema de corte, seleção de bobinas e estoque:

- a) A ausência de solução viável pelos modelos (P_{corte}) e (P_{sel}) vem simplesmente comprovar que para a base “ótima” de um plano de corte escolhido (s_1, \dots, s_j), não existe combinação de bobinas permitindo responder às “demandas” ($x_1 \dots x_j$);
- b) O modelo P_{sel} só permite rodar para 1(um) determinado tipo de bobina por vez. Dessa forma, devem-se fazer várias interações no modelo, deixando assim o tempo de processamento bastante elevado.
- c) Devido o funcionamento da *slitter*, que obriga cortar uma bobina por completo, tem-se gerado um excesso de estoque de bobinas blanks. Na prática isso é ruim, pois para as bobinas blanks armazenadas em média por 2 meses, possuímos uma perda aproximada de 1% do comprimento total da bobina blank por motivo de oxidação.

Do ponto de vista prático o modelo de otimização em duas etapas, pode não ser totalmente satisfatório. É necessário então fazer de modo com que os comprimentos dos planos de cortes propostos sejam também os mais próximos possíveis dos comprimentos das bobinas em estoque. Há então a necessidade de formular um modelo integrando os dois aspectos: corte e seleção das bobinas, permitindo resolver globalmente.

3.3.1. Um modelo global: corte e seleção das bobinas em estoque

Considerando as restrições já apresentadas e reagrupando os modelos (P_{corte}) e (P_{sel}) obtém-se a seguinte formulação:

$$\begin{aligned}
 z(\min) &= \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J \left[\left(p_{bj} + \sum_{i=1}^I \frac{n_{i,j}}{pas_i} \right) * x_{bj} + \left(\sum_{k=1}^K T_{b,k} * y_{bjk} - w_{bjk} \right) \right] \\
 \text{s.a :} \\
 \sum_{b=1}^B \sum_{j=1}^J n_{ij} * x_{bj} &\geq L_i, i = 1, \dots, I \\
 \sum_{j=1}^J w_{bjk} &\leq T_{bk}, k = 1, \dots, K \\
 \sum_{k=1}^K T_{bk} * y_{bjk} - x_{bj} &\geq 0, b = 1, \dots, B, j = 1, \dots, J \\
 \sum_{j=1}^J w_{bjk} - \text{fator_min} * T_k * y_{bjk} &\geq 0, k = 1, \dots, K \\
 \sum_{j=1}^J T_k * y_{bjk} - w_{bjk} &\geq 0, k = 1, \dots, K \\
 \sum_{k=1}^K y_{bjk} &\leq 1, b = 1, \dots, B, j = 1, \dots, J \\
 x_{bj} &\geq 0, b = 1, \dots, B, j = 1, \dots, J \\
 w_{bjk} &\geq 0, b = 1, \dots, B, j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K \\
 y_{bjk} &\in \{0,1\}, b = 1, \dots, B, j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K
 \end{aligned}$$

(P_{Global})

Parâmetros:

- J o número de planos de corte viáveis;
- b o número de tipos de bobinas;
- I os tipos de peças necessários para atender a demanda;
- x_{bj} o comprimento do plano de corte s_j , $j = 1 \dots J$ na bobina b ;
- $p_{bj} = p(s_j)$ a perda associada ao plano $J(s_j, j = 1 \dots J)$ na bobina b ;
- $n_{ij} = n_i(s_j)$ Quantidade de tiras da peça i do plano j ;
- L_i quantidade de peças necessárias para atender a demanda;
- T_k é o comprimento da bobina b_k disponível em estoque;
- w_{bjk} é o comprimento do plano j a ser cortado efetivamente da bobina b_k ;
- y_{bjk} se a bobina b_k é utilizada ou não pelo plano j ;
- *fator_min* é um parâmetro que informa o percentual mínimo a ser cortado da bobina b_k pelo plano j ;

3.4. Experimentos computacionais

Nesta seção, apresentam-se experimentos computacionais objetivando comparar o desempenho dos modelos P_{corte} , P_{sel} e P_{global} .

Antes, porém, considerem-se algumas propostas de alteração no modelo P_{global} .

3.4.1. Retirada da Restrição de Corte Mínimo

Foram realizados alguns testes sem a restrição do fator mínimo, onde o modelo não teria um mínimo a ser cortado, permanecendo apenas a restrição de corte máximo, ou seja, o corte teria que ser menor ou igual ao tamanho da bobina em estoque:

$$\sum_{k=1}^k T_k * y_{bjk} - w_{bjk} \geq 0, \quad j=1,\dots,J, \quad k=1,\dots,K$$

Verificou-se que o modelo passou a nos propor a cortar pequenos comprimentos por bobina em estoque. Por outro lado, observam-se algumas condições reais, tais como: o alto custo de preparação da máquina slliter (tempo de setup), a dificuldade de transportar essas bobinas no chão de fábrica, etc.

3.4.2. Restrição do comprimento necessário

Com as informações de participação da peça no produto e largura e/ou comprimento é possível encontrar o comprimento mínimo a ser cortado para cada tipo de peça:

$$\sum_{b=1}^b \sum_{j=1}^j w_{bjk} \leq C_m, \quad k=1,\dots,K$$

onde C_m a quantidade em comprimento de produzir a cada tipo de peça.

Não se obteve resultados satisfatórios com essa alteração, pois o modelo não apresentou solução viável.

3.4.3. Restrição do comprimento necessário e igualdade na variável de escolha

Aplicou-se ao modelo, a alteração 3.4.2 juntamente com uma igualdade na variável de escolha y_{bjk} :

$$\sum_{k=1}^k y_{bjk} = 1, \quad b=1,\dots,B, \quad j=1,\dots,J$$

Dessa forma o modelo obteve uma solução ótima, entretanto propondo cortar todas as bobinas em estoque. Este fato merece um aprimoramento do modelo.

3.4.4. Tabela de resultados comparativos

Objetivando comparar as estruturas seqüencial e global, realizamos uma simulação com o seguinte cenário:

A Esmaltec necessita produzir 100 fogões de um determinado tipo de modelo (Fogão Rubi), que possui em sua estrutura 7 tipos de peças (laterais, tampão, etc.) com o tipo de chapa 0,65 mm. A Esmaltec possui 2(dois) tipos de chapa 0,65 com as dimensões 1.000 e 1.200 mm e para cada tipo possui 3(três) bobinas em estoque, como podemos observar na Tabela 2.

TIPO BOBINA	DIMENSÃO	COMP. ESTOQUE
0,65	1000	1250
0,65	1200	1041
0,65	1000	1458
0,65	1200	520
0,65	1200	781
0,65	1200	525

Tabela 2 – Comprimentos ótimos encontrados no modelo P_{corte} .

A tabela 3 mostra o comparativo entre os resultados dos modelos em série (P_{corte} e P_{sel}) e o modelo P_{global} . Os experimentos computacionais foram realizados em um computador Pentium IV, com 256 Mb utilizando o pacote LINDO.

Modelo	Status	Iterações	Função Objetivo	Tempo
Pcorte	Ótimo	9	905.085	4seg
Psel (6 planos viáveis)	Ótimo	24	0	3seg
Psel (1 plano viável)	Ótimo	4	0	2seg
Pglobal - INT	Ótimo	165	906.120	9seg 6seg
			Total	6seg

Tabela 3 – Demonstrativo de execução dos modelos.

Modelo	Nº de Plano de Corte Viável	Total Comprimento
Pcorte	6	258.600
Pglobal	7	258.600

Tabela 4 – Demonstrativo de resultados dos modelos.

Foram realizados outros experimentos computacionais considerando uma maior quantidade e diversidade de produtos, como mostra a Tabela 5.

Seq. Teste	Modelo	Qtde de Produtos	Modelo	Iterações	Função Objetivo	Status	Tempo (seg)	Nº Linhas	Nº Colunas	
1º	Fogão	100	Pcorte	9	905.085	Ótimo	4	8	53	
			Psel(6 planos)	24	0	Ótimo	3	49	36	
			Psel(1 plano)	4	0	Ótimo	2	14	6	
						Total	9			
			Pglobal	165	906.120	Ótimo	6			
						Total	6			
2º	Fogão	400	Pcorte	9	3632.34	Ótimo	4	8	53	
			Psel(6 planos)	24	0	Ótimo	3	49	36	
			Psel(1 plano)	4	0	Ótimo	2	14	6	
						Total	9			
			Pglobal	165	2174.00	Ótimo	5	343	372	
						Total	6			
3º	Fogão	1.000	Pcorte	9	9089.931	Ótimo	4	8	53	
			Psel(6 planos)	26	0	Ótimo	3	49	36	
			Psel(1 plano)	4	0	Ótimo	2	14	6	
						Total	9			
			Pglobal	165	7622.517	Ótimo	5	343	372	
						Total	6			
4º	Fogão, Gelagua e Geladeira.	5.000 produtos de cada modelo	Pcorte	41	86493.85	Ótimo	6	14	119	
			Psel(12 planos)	174	0.9094947E-12	Ótimo	4	351	312	
			Psel(1 plano)	5	0	Ótimo	1	14	6	
						Total	11			
			Pglobal	1237	86493.85	Ótimo	9	2520	2569	
						Total	9			

Tabela 5 – Demonstrativo de resultados dos modelos com uma maior diversidade de produtos.

Verifica-se que o modelo P_{global} propõe planos de corte com o mesmo tamanho se executarmos os modelos P_{corte} , P_{sel} . Também constatamos que o número de iterações para os modelos P_{corte} , P_{sel} foi mais elevado, o que poderá resultar um maior tempo de processamento para outras instâncias.

3.5. Conclusão

Após alguns testes computacionais realizados com os modelos P_{corte} , P_{sel} e P_{global} , observam as seguintes necessidades:

- a) Uma qualidade maior de testes computacionais entre os modelos seqüencial e global. Após a realização destes testes um estudo estatístico probabilístico visando comprovar o desempenho;
- b) Observando-se a necessidade da indústria, caso Esmaltec S/A, a inclusão de algumas novas restrições que possam completar situações de estoque. Estas restrições podem ser entendidas através do caso real:
 - a. No dias atuais, o modelo só permite a geração de até dois planos de corte por bobina blank do excedente de bobinas blanks gerado após o modelo de seleção em estoque. Por exemplo, se tivermos um plano com 20 planos viáveis, teremos uma movimentação (transporte, corte) de no mínimo 10 bobinas, o que reflete num custo bastante elevado (movimentação e excedente de estoque de bobinas blanks). Desta forma, pretende-se delimitar o estoque de bobinas blanks nas próximas simulações, reformulando o modelo global de modo a atender as restrições de corte mínimo e aperfeiçoar o número de planos viáveis cortado por bobina, uma vez que atualmente podemos medir o comprimento de cada plano na própria máquina slitter;

Assim sendo, pretende-se ampliar o desempenho computacional dos modelos de corte, seleção de bobinas e estoque de forma a atender as necessidades da indústria.

4. Referências Bibliográficas

- [1] GILMORE, P.C and R.E Gmoory, “*A linear Programming Approach to the Cutting Stock Problems*,” Operation research, V. 9, N°.6, 1991, pp. 849-859.
- [2] GOLDEN,B., “*Approaches to cutting stock problem*”, AIIE Transaction, vol. 8, pp 265-274, 1976.
- [3] HAESSLER,R. and SWEENEY, P., “*Cutting sotck problems and solutions procedures*”, European Journal of Operational Research, vol. 54, pp. 141-150, 1991.
- [4] HAESSLER, R.W., “*Multi-machine roll trim problems and solution procedures*,” TAPPI, 63, 1980, pp. 145-149.
- [5] HAESSLER, R.W., “*A heuristic programming solution to a nonlinear cutting stock problem*,” Management Sci., 17, 1971, pp. 793-802.
- [6] HOTO, R. Otimização no Corte de Peças Unidimensional com Restrições de Agrupamento. Dissertação de estrado,ICMSC-USP, São Carlos, SP, 1996, Brasil.
- [7] HOTO, R. & Arenales, M. Um problema de corte unidimensional com restrições de agrupamento e aplicações industriais. I ON PCE, IME-USP, SP, 1996, Brasil.
- [8] HOTO, R. & Arenales, M. O problema de corte em bobinas de aço. XX CNMAC, Gramado, RS, 1997, Brasil.
- [9] HOTO, R.; Maculan, N.; Arenales,M.N. O problema de corte em bobinas de aço via geração de colunas. XXX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional,Curitiba, PR, 1998, Brasil, 267-268.
- [10] HOTO, R.; Maculan, N. Um problema de corte com padrões compartimentados. Pesquisa Operacional, v.23, n.1, p.169-187, 2003, Brasil.
- [11] HOTO, R.; Maculan, N.;Arenales,M.N. Um novo procedimento para cálculo de mochilas compartimentadas. Pesquisa Operacional, Lisboa, 2002, Portugal, 22(2), 213-214.
- [12] KANTORIVICH, L.V, “*Mathematical Methods for Production Planning and Organization*,” Leningrad University, Leningrad, 1939,(in Russian).
- [13] MARQUES, F.P & Arenales, M.N. O problema da mochila compartimentada. XXXII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Viçosa, MG, 2000, Brasil, 803-816.
- [14] MARQUES, F.P & Arenales, M.N. O problema da mochila compartimentada e aplicações. Pesquisa Operacional, v.22, n.3, 2002, Brasil, p.285-304.
- [15] MASSARU,D.K., *Estudo sobre o efeito da utilização de padrões tabuleiros na produtividade do equipamento de cortes*,FAPESP,2001, Disponível em:<<http://www.lac.inpe.br/~massaru/pce.htm>>, acesso em 05/2004.