

Estabelecimento de critérios e construção de um algoritmo matemático para programação de produção

Noéle Cristiane Moreira de Melo (SETREM) noelledemelo@yahoo.com.br

Adalberto Lovato (SETREM) proflovato@terra.com.br

Resumo

A abertura de novos mercados consumidores impôs fortes pressões para a indústria, onde provocou intensa corrida para melhoria dos seus sistemas produtivos, aonde é preciso controlar os processos e alocar os recursos da melhor forma possível. Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo estabelecer critérios de priorização e construir um algoritmo de seqüenciamento de produção em três máquinas de corte laser para chapas de aço de uma indústria do ramo metal mecânico localizada no município de Santa Rosa – RS. O estudo baseou-se em revisões bibliográficas referentes a livros, artigos científicos e periódicos. Para a execução do trabalho, o mesmo dividiu-se em duas etapas distintas, onde na primeira etapa se estabeleceu os critérios de priorização e na segunda etapa construiu-se o algoritmo para seqüenciamento da produção e sua validação através dos planos de corte a serem processados diariamente. Ao final da validação do algoritmo matemático constatou-se que foi possível minimizar os atrasos de produção e organizar da melhor forma a operação das máquinas de corte laser.

Palavras- Chaves: produção, programação, máquinas de corte laser, priorização, algoritmo.

1. Introdução

O Nas duas últimas décadas, uma revolução silenciosa vem ocorrendo na indústria de bens e serviços em todo o mundo, aonde as indústrias precisam aprimorar seus processos para manterem-se mais competitivas no mercado.

O novo mercado consumidor exige que, cada vez mais, as áreas de manufatura de bens e ou serviços sejam flexíveis e confiáveis, atuem dentro dos prazos pré-estabelecidos e possuam qualidade em seus produtos.

No ramo metal mecânico o cenário não é diferente, uma vez que é preciso o ajuste da produção, estabelecendo as prioridades para seqüenciar da melhor forma que será produzido.

Neste trabalho, é proposta uma abordagem para otimizar o problema integrado, utilizando um modelo de programação matemática para representar as decisões envolvidas. A abordagem é aplicada numa empresa metal mecânica localizada no município de Santa Rosa – RS.

Partindo desse pressuposto, serão estabelecidos critérios de priorização e construído um algoritmo matemático de seqüenciamento para a programação da produção, pois a necessidade de flexibilidade, menores prazos e qualidade, se fazem necessário no cenário em que a empresa está inserida.

Desse modo, em nível tático e operacional, o modelo matemático buscará a coordenação da capacidade das máquinas laser ao longo de todo o horizonte de planejamento sendo ele para período imediato ou a longo prazo.

2. Revisão da Literatura

2.1 Seqüenciamento (*scheduling*)

Para Fernandes (2006), *Scheduling* (Seqüenciamento da Produção) lida com a alocação de operações em recursos. É um processo de tomada de decisão com o objetivo de otimizar um ou mais objetivos, como minimizar número de pedidos atrasados, tempo de processamento dos pedidos, entre outros.

Segundo Pinedo (1995) apud Mota (2007), a decisão tomada pelas técnicas de *Scheduling* apresenta um importante papel na maioria dos sistemas de produção, de manufatura e também em ambientes de processamento de informações, pois os recursos e as tarefas dentro das organizações são escassos e as técnicas de seqüenciamento lidam, exatamente com a alocação destes recursos no tempo, sendo um processo de tomada de decisão com a meta.

É a determinação da ordem em que as tarefas serão executadas. O seqüenciamento está vinculado ao tipo de produção, podendo ser classificado em:

- seqüenciamento nos processos contínuos;
- seqüenciamento nos processos repetitivos em massa;

seqüenciamento nos processos repetitivos em lote. (SLACK, 1997 apud ZATTAR,2003 p.4).

Seqüenciamento nos processos contínuos – “Como os processos contínuos se propõem a produção de poucos itens, normalmente um por instalação, não existem problemas de seqüenciamento quanto à ordem de execução das atividades. A maior preocupação concentra-se no fluxo de chegada de matérias-primas e na manutenção das instalações produtivas...” (TUBINO,2000 apud ZATTAR,2003 p. 167).

Seqüenciamento nos processos repetitivos em lote – caracterizam-se por um volume médio de itens padronizados em lotes. A questão do seqüenciamento em processos repetitivos em lotes pode ser analisada sob dois aspectos: a escolha da ordem a ser processada dentre uma lista de ordens (decisão 1) e a escolha do recurso a ser usado dentre uma lista de recursos disponíveis (decisão 2), (TUBINO,2000 apud ZATTAR,2003).

Os mecanismos de solução dos problemas de seqüenciamento podem ser caracterizados em:

- Modelos exatos (Matemáticos): utilizam algoritmos que buscam a solução ótima, exigindo geralmente grande esforço computacional, podendo por esse motivo inviabilizar sua utilização;

- Modelos aproximados (Heurísticos): Utilizam critérios pré-estabelecidos para priorização das tarefas, alcançam um resultado aceitável sem grande esforço computacional, ou seja, não garantem uma solução ótima. GALVÃO (2007).

Para organizar o processamento de pedidos pode-se usar regras de seqüenciamento que estabelecem um meio lógico de saber qual lote terá prioridade na fila de processamento em um recurso. Tais condicionantes são respeitadas com a intenção de atingir objetivos, como cumprimento de prazo dos clientes, redução de custos de produção entre outros.

Assim, existem várias regras de seqüenciamento, como Tubino (1997) apud Fernandes (2006):

- PEPS – Primeira que Entra Primeira que Sai: os lotes são processados de acordo com sua chegada no recurso;
- MTP – Menor Tempo de Processamento: os lotes serão processados de acordo com os menores tempos de processamento no recurso;
- MDE – Menor Data de Entrega: os lotes serão processados de acordo com as menores datas de entrega;
- IPI – Índice de Prioridade: os lotes serão processados de acordo com o valor da prioridade atribuída ao cliente ou ao produto.

Mota (2007) salienta que o processo de seqüenciamento encontra-se inserido no macro-processo de planejamento e controle de produção no ponto onde, dado o planejamento de capacidade e de materiais, faz-se necessária a tomada de decisão de como arranjar as ordens de produção para que possa se utilizar os recursos com maior eficiência. Portanto, os pedidos já são emitidos na seqüência definida como ótima para dado cenário.

2.2 Programação Inteira

A investigação operacional constitui um novo ramo científico, independente dos outros, que proporciona uma abordagem científica para a tomada de decisões, baseada essencialmente em técnicas quantitativas, ao invés de uma abordagem qualitativa, baseada na experiência e intuição de quem toma as decisões. (FERRARI, 2008).

O conceito de modelo é fundamental na investigação operacional. Modelo é entendido como um meio de representação que possua algumas das características do projeto ou sistema que se pretende entender e controlar, e é definido por uma função objetivo e um conjunto de restrições, expressos em termos de variáveis (que determinam as alternativas) do problema. (ESTEVÃO, 1998 p.07).

O processo de tomada de decisão na investigação operacional consiste em construir um modelo de decisão e resolvê-lo de modo a determinar-se a decisão ótima. Para a solução de um modelo, apesar de exata, ter significado real, esse modelo tem que

proporcionar uma representação adequada da realidade. .(ESTEVÃO, 1998 p.07).

Modelo “ou-ou”

O modelo matemático ou-ou provindo da Programação Inteira é designado para a resolução de problemas de produção de pedidos com prazo de entregas diferentes. Sendo:

- $a_a, a_b \dots a_k$ os pedidos a serem processados
- $t_a, t_b \dots t_k$ os prazos de entrega
- $p_a, p_b \dots p_k$ os tempos de produção de cada pedido
- $X_a, X_b \dots X_k$ a hora efetiva de término de produção dos produtos

Tratando da não interferência, ou seja, dois pedidos não podem ser construídos ao mesmo tempo. Os trabalhos A e B com tempo de construção P_a e P_b não são construídos concomitantemente se:

$$x_a \geq x_b + p_b \quad \text{ou} \quad x_b \geq x_a + p_a \quad (1)$$

Dependendo se o trabalho B precede o trabalho A ou vice-versa.

Essa não simultaneidade pode ser convertida numa outra expressão matemática, através de uma variável binária.

$$y_{ab} = \begin{cases} 1, & \text{se A precede B} \\ 0, & \text{se B precede A} \end{cases}$$

Logo em seguida é introduzido uma constante M, cujo valor é muito grande (na prática tem que ser maior que a soma dos tempos de construção). Numa programação matemática, as restrições devem ser atendidas simultaneamente. Logo, pode-se concluir as seguintes restrições matemáticas.

$$My_{ab} + (x_a - x_b) \geq p_b \quad \text{e} \quad M(1-y_{ab}) + (x_b - x_a) \geq p_a \quad (2)$$

Logo:

Se $y_{ab} = 0$, a primeira restrição (à esquerda) fica sendo apenas $(x_a - x_b) \geq p_b$, o que significa que A não precede B. A será construída depois do término de B. A segunda expressão (à direita) será redundante, pois $M = P$ é maior que qualquer tempo de construção de qualquer dos equipamentos.

Se $y_{ab} = 1$, então a expressão à esquerda é redundante e aquela da direita é ativa: $(x_b - x_a) \geq p_a$

Tem-se dessa forma, duas restrições para o modelo matemático

$$My + (x_a - x_b) \geq p_{ba} \quad (3)$$

$$M(1 - y_{ab}) + (x_b - x_a) \geq p_a \quad (4)$$

Para considerar a restrição do prazo de entrega. São representadas por:

$$\begin{aligned} x_a + p_a + s_a &= d_a \\ x_b + p_b + s_b &= d_b \end{aligned} \quad (5)$$

$$x_c + p_c + s_c = d_c$$

Fazendo as transformações, obtém:

$$\begin{aligned} s_a &= s_a^- - s_a^+ & s_a^-, s_a^+ &\geq 0 \\ s_b &= s_b^- - s_b^+ & s_b^-, s_b^+ &\geq 0 \\ s_c &= s_c^- - s_c^+ & s_c^-, s_c^+ &\geq 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Substituindo nas expressões, ficam as seguintes restrições:

$$\begin{aligned} x_a + s_a^- - s_a^+ &= d_a - p_a \\ x_b + s_b^- - s_b^+ &= d_b - p_b \\ x_c + s_c^- - s_c^+ &= d_c - p_c \end{aligned} \quad (7)$$

Agora se tem todas as restrições formadas, duas classes de restrições, não interferência (não concomitante) e restrições de prazo. O objetivo do presente trabalho é minimizar atrasos, portanto, minimizar $s_a^+ + s_b^+ + s_c^+$, dessa forma, o algoritmo matemático se apresentará da seguinte forma:

Minimizar $s_a^+ + s_b^+ + s_c^+$

Sujeito a:

$$\begin{array}{rccccccc} x_a & -x_b & & & My_{ab} & & \geq D \\ -x_a & x_b & & & -My_{ab} & & \geq D-M \\ x_a & & -x_c & & My_{ac} & & \geq D \\ -x_a & & x_c & & -My_{ac} & & \geq D-M \\ & x_b & -x_c & & My_{bc} & & \geq D \\ & -x_b & x_c & & -My_{bc} & & \geq D-M \\ x_a & & & & & s_a^- - s_a^+ & = D-d \\ & x_b & & & & s_b^- - s_b^+ & = D-d \\ & & x_c & & & s_c^- - s_c^+ & = D-d \end{array}$$

3. Métodos e Técnicas

Para a execução desse trabalho, será utilizada a metodologia que segue as normas do manual de Metodologia da Pesquisa da Sociedade Educacional Três de Maio - SETREM apresentado por Güllich, Lovato e Evangelista (2007), dessa forma o trabalho será desenvolvido através de pesquisa bibliográfica em livros, periódicos, artigos e Internet, os dados serão analisados e discutidos de forma descritiva para a melhor compreensão dos mesmos.

3.1 Métodos de Abordagem

O método de abordagem é considerado indutivo, pois no resultado da construção do algoritmo e após a coleta de dados, o mesmo irá minimizar os atrasos das máquinas de corte laser.

3.2 Métodos de Procedimentos

Para a realização do trabalho levantou-se primeiramente os dados junto à empresa, como, capacidade de produção das três máquinas de corte laser bem como a espessura das chapas de aço utilizadas.

Em seguida, verificou-se quais espessuras de chapas são mais utilizadas no processo, mediante um estudo de entrada e saídas dessas matérias-primas durante um número significativo de meses.

Feito esses levantamentos preliminares, estabeleceu-se os critérios de priorização, baseado nas políticas determinadas pela direção da empresa, e por fim será desenvolveu-se os algoritmos matemáticos de seqüenciamento de produção.

3.3 Técnicas

A técnica utilizada para resolver o problema de seqüenciamento e prioridades das máquinas de corte laser é o modelo ou-ou provindo da Programação Linear Inteira

4. Resultados e discussões

O setor de corte laser da indústria possui três máquinas de corte laser de alta tecnologia, sendo duas da marca Trumpf 3030 (L3030) e uma da marca Bystronic, onde são alimentadas via programação computacional.

Para a programação computacional das máquinas de corte laser, é utilizado um programa computacional denominado "SIGMANEST". Esse programa tem a função de importar os dados recebidos via EDI (Intercâmbio eletrônico de dados) pelo PCP e realizar a programação das peças cortadas em laser, levando em consideração: matéria-prima disponível no estoque, chapas retalhos, otimização da matéria-prima, melhor forma de execução do corte.

Depois de programadas, é gerado um plano de corte e enviado via sistema para as máquinas, dessa forma, o operador tem a função de executar o plano de corte estabelecido pelo programador.

Para a execução do corte laser e funcionamento do setor, o operador faz a seleção e transporte da matéria-prima no estoque com o auxílio de empilhadeira, visando diminuir o set up gerados pelo processo.

Estabelecimento de Critérios

Critério 01: Quantidade de Matéria – prima

No sentido de minimizar o tempo de execução do corte e obter ganhos de tempo em paradas técnicas e organizacionais (*set up*, preparações), esse critério foi definido com base no processamento das peças cortadas em espessuras menos utilizadas em quantidade primeiro.

O fato de se tornar atrativo esse critério em análise, é explicado por, as peças produzidas com as espessuras e características das chapas com menor quantidade de uso terão tempo de processamento menor que as peças com espessuras e características de chapas mais utilizadas.

Após o levantamento dos diferentes materiais, classificaram-se os tipos de chapas utilizadas, bem como, a quantidade de entradas para a produção num período de

nove meses contados a partir de agosto de 2009 a abril de 2010.

As chapas com quantidade até 2.000 kg de uso foram classificadas como chapas de baixa utilização, as chapas de média utilização, com uma quantidade de 2.000 kg a 10.000 kg e as chapas de grande utilização pela indústria, que serão processadas após as chapas de baixa e média utilização serem processadas.

A validação do critério 01 realizou-se num dia aleatório na indústria, onde foram selecionados 08 planos de corte em diferentes espessuras, não levando em consideração as peças que seriam processadas pelos planos.

Enumeraram-se os planos de corte conforme a quantidade histórica de utilização das matérias-primas, conforme figura 1.

Plano	Código	Descrição	Quantidade Histórica (kg)	Ordem de Corte
2405EM400DISC	CHDO4,754312	Chapa Decol 4,75 EM	1072,00	1º
2405LNE38LOTE	CHLQ9,524321	Chapa LQ 9, 6656 LNE 38	1963,00	2º
2405DECOL04SI	CHDO3,752024	Chapa Decol 3,75	2140,00	3º
2405FINAF6021	CHFF0,902024	Chapa FF 0,90	3581,00	4º
2405DECOLCG21	CHDO2,650224	Chapa Decol 2,65	16417,00	5º
2405FINAF5011	CHFF1,502024	Chapa FF 1,50	17918,00	6º
2405CHLQL7044	CHLQ6,354321	Chapa LQ 6,35 LNE 38	19844,00	7º
2405DECOL3842	CHDO4,252024	Chapa Decol 4,25	28790,00	8º

Figura 1 – Validação do critério 01. Fonte: Lovato, Melo (2010)

Critério 02: Chapas Finas

O seqüenciamento do critério 02 foi definido pelas chapas finas, onde as mesmas serão processadas primeiras. Esse critério é explicado por as chapas finas terem menos tempo de processamento que as chapas de espessuras grossas.

O critério 02 foi validado na indústria num dia escolhido aleatoriamente, onde a produção encontrava em alta, ou seja, diversos itens precisavam ser processados.

Após a programação diária e impressos os planos de corte pelo programador, foram selecionados os planos de acordo com a espessura e feito o seqüenciamento diário da produção, onde as chapas mais finas foram processadas primeiro que as chapas de espessuras mais grossas conforme a figura 2.

Plano	Código	Descrição	Ordem de Corte
2606FAZER150EM	CHFF1,502016	Chapa FF 1,50 EP	1º
2606ZINCAR190EM	CHFF1,902015	Chapa FF 1,90x1500x3000 mm NBR 5915 EM	2º
2606ALCA300LNE38	CHDO3,004321	Chapa Decol 3,00x1200x3000 mm NBR 6656 LNE 38	3º
2606TAMPA1010	CHDO3,752024	Chapa Decol 3,75x1500x3000 mm SAE 1010/20	4º
2606ALAVCEM	CHDO4,504312	Chapa Decol 4,50x1200x3000 mm NBR 5906 EM	5º
2606GRAMPLNE38	CHLQ6,354321	Chapa LQ 6,35x1200x3000 mm NBR 6656 LNE 38	6º
2606SUPORLNE38	CHLQ8,004321	Chapa LQ 8,00x1200x3000 mm NBR 6656 LNE 38	7º
2606BORRC1010	CHLQ9,524324	Chapa LQ 9,52x1200x3000 mm SAE 1010/20	8º

Figura 2 – Validação do critério 02. Fonte: Lovato, Melo (2010)

Critério 03: Menor Tempo

O critério 03 foi estabelecido pelo tempo de processamento das peças nas máquinas de corte laser, onde foram ordenados os planos de corte com tempos menores primeiro que os planos com tempo de processamento maior e foi validado com base nos planos programados, onde se enumerou os planos de acordo com o menor tempo de corte dos planos nas máquinas, a partir disso, teve-se a ordem e seqüenciamento de corte para os planos conforme a figura 3.

Plano	Código	Descrição	Tempo de Corte (horas)	Ordem de Corte
2206CHAPA1020	CHDO4,252024	Chapa Decol 4,25	0,23	1º
2206DEGRAU1020	CHDO2,650424	Chapa Decol 2,65	1,05	2º
2206PARALLN20	CHLQ8,004320	Chapa LQ 8,00	1,08	3º
2206PROTC1010	CHFF1,902024	Chapa FF 1,90	2,18	4º

2206STEP1020	CHFF1,502024	Chapa FF 1,50	3,37	5º
2206ALCALN20	CHLQ6,354320	Chapa LQ 6,35 LN 20	6,49	6º
2206TAMPA1020	CHDO3,352024	Chapa Decol 3,35	9,20	7º
2206FECEM	CHDO3,002012	Chapa Decol EM	18,12	8º

Figura 3 – Validação do critério 03. Fonte: Lovato, Melo (2010)

Critério 04: Prazo de Entrega

O critério 04 foi definido com base no prazo de entrega das peças processadas com o objetivo de minimizar o atraso diário de entrega dos itens. Considerou-se esse critério como sendo o de maior importância e aplicação para a indústria, pois como a demanda se torna instável é necessário que se minimize o tempo de atraso em cada setor produtivo, bem como se arranje da melhor forma os recursos disponíveis.

A indústria possui dois turnos de trabalho para o corte laser, sendo classificado como turno 01 e turno 02 diurno e noturno respectivamente. Partindo desse pressuposto, para a elaboração do critério 04 considerou-se os prazos de entregas das peças a serem processadas no dia, ou seja, nos dois turnos de trabalho, bem como, o tempo de processo da cada plano de corte.

A fim de minimizar o atraso nas entregas, foi criado um algoritmo matemático que com o auxílio de um programa computacional, busca a melhor solução de seqüenciamento da produção com o menor atraso final dos planos de corte.

A construção do algoritmo teve base nos problemas reais enfrentados pela indústria, onde foram abordados todos os planos de corte programados para um determinado dia, considerando o tempo efetivo de produção das máquinas com 20 horas corridas, iniciando às 22 horas da noite sendo classificada como hora “zero” e 18 horas do dia seguinte classificada como hora “vinte”.

O algoritmo matemático fundamentou-se na programação inteira do modelo ou-ou mencionado anteriormente, onde se devem obedecer as duas restrições para a elaboração.

Na fase de elaboração do modelo matemático, tomou-se uma sequência de 08 planos de corte juntamente com a descrição das matérias-primas, tempo de corte e hora de entrega indicados na figura 4.

Plano	Código	Descrição	Tempo de Corte (horas)	Hora de Entrega
2705CAPA250EM	CHDO2,504312	Chapa Decol 2,50EM	8,09	9,00
2705PLACA3001020	CHDO3,002024	Chapa Decol 3,00 1010/20	3,01	14,00
2705DISCO450EM	CHDO4,504312	Chapa Decol 4,50EM	2,97	3,00
2705COTAS475EP	CHDO4,754313	Chapa Decol 4,75EP	4,66	15,00
2705UNIAO6001020	CHDO6,004312	Chapa Decol	1,00	3,00

		6,00EM		
2705SEMIANEL1020	CHLQ6,354324	Chapa LQ 6,35	2,05	5,00
2705ORDEM800LN20	CHLQ8,004320	Chapa LQ 8,00LN 20	2,88	12,00
0106MIX9501020	CHLQ9,524324	Chapa LQ 9,52 1010/20	2,70	7,00

Figura 4 – Validação do critério 04. Fonte: Lovato, Melo (2010)

Após coletados os dados, enumerou-se os planos e foram definidas as variáveis conforme figura 5.

Plano	Variáveis
2705CAPA250EM	x_1
2705PLACA3001020	x_2
2705DISCO450EM	x_3
2705COTAS475EP	x_4
2705UNIAO6001020	x_5
2705SEMIANEL1020	x_6
2705ORDEM800LN20	x_7
0106MIX9501020	x_8

Figura 5 – Definição das variáveis. Fonte: Lovato, Melo (2010)

Partindo do Modelo ou-ou, dois planos não podem ser processados simultaneamente e são binário aonde pode-se concluir que:

$$Y_{12} = \begin{cases} 1, & \text{se 1 precede 2} \\ 0, & \text{se 2 precede 1} \end{cases} \quad (8)$$

Após ter sido definido a não simultaneidade, introduziu-se uma variável denominada M, que para o presente caso, adotou-se 100, pois o mesmo é maior que a soma dos tempos de processos dos 08 planos, que é de 27,36 horas.

Então se tem as restrições

$$\begin{cases} 100y_{12} + (x_1 - x_2) \geq 3,01 \\ 100(1-y_{12}) + (x_1 - x_2) \geq 8,09 \end{cases} \quad (9)$$

Onde x_1 é o momento de início do primeiro plano e x_2 é o momento de início do segundo plano, 3,01 é o tempo de processamento do segundo plano e 8,09 é o tempo de processamento do primeiro plano.

Logo,

$$\begin{cases} x_1 - x_2 + 100 y_{12} \geq 3,01 \\ -x_1 + x_2 - 100 y_{12} \geq 8,09 - 100 \end{cases} \quad (10)$$

Esse procedimento é repetido para interação de cada um dos oito planos com todos os demais. O que para este exemplo implica em 56 restrições.

Depois de definidas as restrições de precedência, montou-se o modelo matemático dos atrasos, ou seja, minimizar $s_a^- + s_b^- + s_c^-$. Assim, as restrições de atraso tomam a seguinte forma:

$$x_1 + s_1^- - s_1^+ = 9 - 8,09 \quad (11)$$

Onde x_1 é o momento de início de produção do primeiro plano, s_1^- é o tempo de atraso de entrega do primeiro plano (se houver atraso), s_1^+ é tempo de folga de entrega do primeiro plano (se houver folga), 9 é a hora para qual foi solicitado a entrega do primeiro plano e 8,09 é o tempo de processamento do primeiro plano.

Portanto, o modelo completo fica sendo aquele que está no apêndice A, com 01 linha de função objetivo e 64 linhas de restrições.

Após a construção do modelo matemático, colocou-se resolver em meio computacional para encontrar uma solução ótima para o presente caso abordado, os resultados encontrados estão expressos na figura 24.

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
19,3	11,6	1	14,6	0	3,97	8,72	6,02

Figura 6– Solução ótima do critério 04. Fonte: Lovato, Melo (2010)

A figura 6 mostra a solução ótima resultante do algoritmo deste caso em análise, onde foi definida a hora que deve ser processado cada plano de corte, dessa forma, o seqüenciamento da produção está descrito na figura 7

Plano	Código	Tempo de Corte (horas)	Hora de Entrega	Hora de Começo	Ordem de Corte
2705UNIAO6001020	CHDO6,004312	1,00	3,00	0,00	1º
2705DISCO450EM	CHDO4,504312	2,97	3,00	1,00	2º
2705SEMIANEL1020	CHLQ6,354324	2,05	5,00	3,97	3º
0106MIX9501020	CHLQ9,524324	2,70	7,00	6,02	4º
2705ORDEM800LN20	CHLQ8,004320	2,88	12,00	8,72	5º
2705PLACA3001020	CHDO3,002024	3,01	14,00	11,60	6º

2705COTAS475EP	CHDO4,754313	4,66	15,00	14,60	7º
2705CAPA250EM	CHDO2,504312	8,09	9,00	19,30	8º

Figura 7 – Validação do critério 04. Fonte: Lovato, Melo (2010)

5. Conclusões

A fim de procurar formas para contornar esses problemas, os critérios de priorização da produção juntamente com o algoritmo apresentado se mostraram bem coerente ao ambiente da indústria ao coordenar o seqüenciamento dos planos de corte.

Com os experimentos feitos com dados reais mostrou que esta abordagem é capaz de gerar resultados melhores que os utilizado pela indústria, dessa forma, concluiu-se que o modelo é apropriado para as decisões de dimensionamento e seqüenciamento da produção para o corte laser.

Desse modo, o equilíbrio na programação das máquinas de corte laser propicia uma operação contínua de todos os processos do ambiente fabril, minimizando as perdas geradas pelos atrasos.

6 . Referências

- DAVIS, Mark M, et al. *Fundamentos da administração da produção* 3.ed. – Porto Alegre: Bookman editora, 2001.
- ESTEVÃO, João M. *Introdução à investigação operacional – Programação Inteira*. Universidade do Algarve. CESE em Engenharia Civil. Setembro de 1998
- FERNANDES, Rafael Otávio P. *Estudo de seqüenciamento de produção numa indústria de meias*. Universidade federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG, fevereiro de 2006.
- GALVÃO, Frederico Martins. *Aplicação de um modelo de seqüenciamento da produção para um setor de modelagem de artefatos plásticos*. Universidade federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG, novembro de 2007.
- GÜLLICH, Roque Ismael da Costa; LOVATO, Adalberto; EVANGELISTA, Mário Luis Santos. *Metodologia da Pesquisa: Normas para Apresentação de Trabalhos: Redação, Formatação e Editoração*. Três de Maio: SETREM, 2007.
- LANDMANN, Raul, et al. *Programação da produção em empresas metalúrgicas com utilização de algoritmo genético*. XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2006
- SLACK, Nigel & CHAMBERS, Stuart & JOHNSTON, Robert. *Administração da Produção*. 2a ed. São Paulo: Atlas. 2002.
- TAHA, Hamdy A. *Operations Research: an Introduction*. University of Arkansas, Fayetteville. 6th Ed, 1997.
- ZATTAR, Isabel Cristina. *Metodologia para implantação de um sistema de programação da produção com capacidade finita em empresas prestadoras de serviços*. Sociedade Educacional de Santa Catarina. Joinville – SC, 2003.