



## ARTIGOS

# APLICAÇÃO DA PESQUISA OPERACIONAL NO SEQUENCIAMENTO E GERENCIAMENTO DE PROJETOS EM EMPRESAS DE GRANDE PORTE: ESTUDO MULTICASO

Álvaro Paz Graziani<sup>1</sup>

Diego Fernandes Florisbello<sup>2</sup>

Marcio Briesemeister<sup>3</sup>

Milton Procópio de Borba<sup>4</sup>

**Resumo:** Este trabalho tem como objetivo apresentar a possibilidade de aplicação das técnicas de programação matemática para a solução de problemas de sequenciamento, estimativas de tempo, custo e alocação de recursos em gerenciamento de projetos. Para tanto, foram estudados dois casos, um em cada empresa. No primeiro estudo, foi desenvolvido um modelo que possibilita a eficiente utilização de dados históricos de projetos de um fabricante de ônibus para otimizar o tempo total dos projetos com a utilização adequada dos recursos. O segundo estudo foi realizado numa fundição de grande porte de Joinville, onde foi desenvolvida uma ferramenta de sequenciamento da sua linha de produção, procurando adequar as quantidades de moldes à capacidade dos fornos e aos tipos de ligas de ferro fundido.

**Palavras-chave:** Gerenciamento de projetos. PCP. Pesquisa operacional. Programação linear. PERT-CPM.

## 1. INTRODUÇÃO

A elaboração destes estudos é motivada pela observação e experiência em relação ao problema de planejamento do tempo e custo tanto em gerenciamento de projetos quanto no sequenciamento de produção. No ambiente de engenharia, especialmente na elaboração de projetos e sequenciamento de produção,

são geradas muitas informações, que poucas vezes são convertidas em conhecimento que auxilia de forma eficiente e assertiva no processo de elaboração de estimativas de tempo, custo e sequenciamento para novos projetos. Segundo Berssaneti; Carvalho e Muscat (2012), a utilização de um banco de dados de informações históricas sobre projetos representa uma maturidade em gerenciamento de projetos.

De acordo com Gray e Larson (2009), os gestores reconhecem que estimativas de tempo, custos e recursos, que necessitam ser precisos para que o planejamento, programação e controle sejam, de fato, efetivos. Desta forma, os prejuízos decorrentes de retrabalhos em projetos e, mesmo no produto em processo, são radicalmente minimizados.

O planejamento e controle da produção (PCP) é o setor da empresa que tem a função administrativa e que integra a produção às demais funções da organização através da informação. Seus objetivos também são planejar projetando o futuro e controlar a produção lidando com as variações e desvios que implicam o redesenho dos planos ou intervenções nas operações (GRAZIANI, 2012, p. 19). O PCP se ocupa do planejamento e controle de todos os aspectos da produção, inclusive do gerenciamento de materiais,

<sup>1</sup>Sociedade Educacional de Santa Catarina – UNISOCIESC. E-mail: alvaro.graziani@sociesc.org.br

<sup>2</sup>Sociedade Educacional de Santa Catarina – UNISOCIESC. E-mail: diego.fernandes@schulz.com.br

<sup>3</sup>Sociedade Educacional de Santa Catarina – UNISOCIESC. E-mail: marcio.bresemeister@sociesc.org.br.

<sup>4</sup>Sociedade Educacional de Santa Catarina – UNISOCIESC. E-mail: milton.borba@sociesc.org.br.



de programação de máquinas, pessoas, da coordenação de fornecedores e clientes-chave. O PCP consiste no conjunto de funções necessárias para coordenar o processo de produção, de forma a ter os produtos produzidos nas quantidades data de entrega exata (FILHO, 2006, p. 73).

Este artigo mostra a aplicação da pesquisa operacional (PO) para resolver problemas complexos em duas empresas de grande porte de Joinville. No primeiro caso, a pesquisa operacional foi a ferramenta utilizada para no gerenciamento de projetos para minimizar o caminho crítico da rede PERT-CPM em um fabricante de carrocerias de ônibus. Foi necessário fazer com que o Solver, um suplemento do MS Excel, atribuísse um tempo de execução para cada tarefa dentre as diferentes opções de recursos. No segundo caso, foi utilizado o Solver para criar um modelo matemático para o sequenciamento da programação de uma fundição de grande porte. Os objetivos foram atender às restrições de fusão e moldagem, reduzir de custos, além de eliminar parcialmente as etapas de sequenciamento de forma manual e aumentar a confiabilidade da gerência e dos operadores na programação.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta sessão, são apresentadas as bases científicas que servirão de referência para a fundamentação do presente estudo. São introduzidos os seguintes conceitos necessários para o desenvolvimento do modelo proposto: Estimativas em gerenciamento de projetos e pesquisa operacional, contemplando a progra-

mação matemática.

### **2.1 Estimativas em gerenciamento de projetos**

Segundo o PMBOK (2008), o processo de elaborar as estimativas de tempos e custos está inserido no grupo de planejamento do projeto, juntamente com a alocação dos recursos para a realização das atividades.

Segundo Gray e Larson (2009), o desejo de quem trabalha com projetos é ter 95% de probabilidade de atingir as estimativas de tempo e custo. Experiências de projetos anteriores é um bom ponto de partida para iniciar a desenvolver tais estimativas. Estimativas vividas anteriormente devem quase sempre ser refinadas por outras considerações para chegar ao nível desejado de 95% de probabilidade. Fatores relacionados à singularidade do projeto influenciarão consideravelmente na exatidão das estimativas. Todos os fatores externos, relacionados ao projeto e às pessoas, precisam ser considerados a fim de melhorar a qualidade das estimativas de tempo e custo do projeto.

Os seguintes fatores têm influência na qualidade das estimativas em gerenciamento de projetos: horizonte de planejamento; duração do projeto; pessoas; estrutura e organização do projeto; estimativas amortecedoras; cultura organizacional e outros fatores. A melhor forma de aprimorar as estimativas é a criação de um banco de dados de projetos passados e atuais, essa prática fornece uma base de conhecimento, além de ser a melhor prática dentre organizações líderes em gerenciamento de projetos



## ARTIGOS

(GRAY; LARSON, 2009).

### **2.2 Pesquisa operacional**

A Pesquisa Operacional (PO) é um ramo da matemática aplicada destinada a resolver problemas de decisão. Faz uso de modelos matemáticos, estatísticos e de algoritmos que auxiliam na resolução de problemas complexos do mundo real, tipicamente com o objetivo de melhorar ou otimizar o desempenho.

Seja na indústria como na área de serviços, a complexidade dos sistemas requer decisões assertivas, pois refletem em performance e utilização eficiente dos recursos disponíveis. Desta forma, pode-se afirmar que a PO é a abordagem científica para a tomada de decisões.

A modelagem de um problema para ser resolvido através da PO requer uma considerável habilidade de abstração, ou seja, observar devidamente o problema e convertê-lo em um modelo matemático. É necessário que o modelador tenha uma relativa habilidade tanto da matemática como na área de conhecimento que a modelagem é aplicada.

Conforme Santos; Junior e Bouzada (2012), a modelagem de um problema complexo consiste bem mais em arte do que ciência. É possível seguir diretrizes básicas e um roteiro genérico disponível na literatura, mas, principalmente nos casos em que houver uma boa dose de complexidade presente no problema real, muito provavelmente será necessário fazer um bom uso da criatividade do modelador de forma que os objetivos

estabelecidos sejam plenamente alcançados.

Os ramos de atuação da PO são diversos, dependendo da natureza e do tipo de problema, existem diferentes técnicas de abordagem envolvendo a modelagem matemática do problema. De acordo com Passos (2008), as vertentes mais difundidas da PO são: programação linear; programação inteira; programação dinâmica; teoria das filas; teoria dos grafos; simulação e teoria dos jogos.

### **3. CASO 1: CARROCERIAS DE ÔNIBUS**

Nos tópicos a seguir são apresentadas as etapas para a construção dos modelos desde a compilação das informações até o processo de desenvolvimento e resolução do modelo.

#### **3.1 Informações históricas**

As informações históricas utilizadas para a alimentação do modelo foram retiradas do banco de dados da engenharia do produto de uma empresa fabricante de carrocerias de ônibus, contendo registros datados entre setembro de 2002 e agosto de 2012, totalizando assim, aproximadamente, 10 anos de histórico de projetos.

Utilizando o conhecimento em projeto de carrocerias de ônibus e, juntamente com as informações na base de dados, foi construída a relação de tarefas necessárias para a realização de um projeto genérico de carroceria modelo rodoviário, conforme é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Relação de tarefas

Tarefas	Abrev.	Pred.	Recursos				
			R1	R2	R3	R4	
1 ESTUDO 1	A	INICIO					
			Média	29	31	30	32
2 ESTUDO 2	B	A					
			Média	29	31	30	32
...							
41 MONT. CABOS BATERIAS	AO	B					
			Média	R27	R28		
				18	19		
42 MONT. MODULOS ELETRON.	AP	INICIO					
			Média	R27	R28		
				18	19		

Fonte: Produção do próprio autor

### 3.2 Modelagem do problema

O desenvolvimento do modelo proposto seguiu as etapas de estudo de um problema de pesquisa operacional que, segundo Passos (2008), é dividido de acordo com as seguintes fases: identificação ou determinação do problema; estudo do problema; construção do modelo; resolução do modelo; validação do modelo e implementação. Neste trabalho foram desenvolvidas as etapas de construção, resolução e validação do modelo.

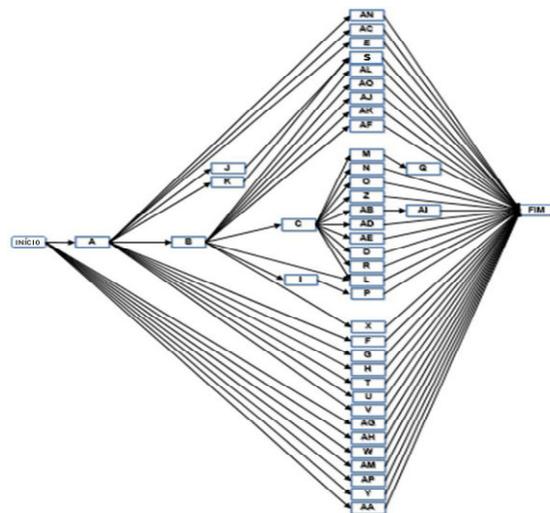
#### **Construção do modelo**

A etapa de construção foi iniciada com a análise das diferentes relações de precedência entre as tarefas relacionadas na Tabela 1, resultando no diagrama PERT-CPM conforme é apresentado na Figura 1.

#### **Resolução do modelo**

Efetuada o planilhamento de todos os caminhos da rede, foi necessário encontrar um método de incorporar dinamicamente ao modelo o histórico dos recursos com seus respectivos tempos de execução.

Figura 1 - Diagrama de rede



Fonte: Produção do próprio autor

Como trata-se de um problema de otimização, foi utilizado o Solver, um suplemento do MS Excel utilizado para resolução de problemas de programação linear (PL), programação inteira (PI) e programação não linear (PNL). Tendo como objetivo minimizar o caminho crítico da rede, foi necessário fazer com que o Solver atribuísse um tempo de execução para cada tarefa dentre as diferentes opções de recursos.

O caminho crítico, por sua vez, é obtido através da escolha da maior soma das tarefas dos diversos caminhos da rede PERT-CPM e é representado através da célula R9 do MS Excel. Foram selecionadas as células M3 até EO3 totalizando 133 variáveis de decisão.

O modelo é sujeito a duas restrições. A primeira determina que as células ajustáveis recebam apenas valores binários, ou seja, 1 quando o recurso é selecionado.



### Validação do modelo

Nesta fase foi necessário encontrar uma maneira de averiguar se a alocação dos recursos proposta pelo modelo atende aos requisitos iniciais, ou seja, cada tarefa é executada por apenas um recurso e este não pode executar mais de uma tarefa de cada vez. Através da função SE do Excel, foi possível verificar em quais tarefas o recurso R23 foi alocado ao longo do tempo do projeto, onde isso é facilmente constatado através das células que contiverem o número 1, as quais representam cada unidade de tempo do empreendimento.

Figura 4 - Gráfico de Gantt

VAR.A		=B\$N\$8*SE(E(AN21>=\$BP\$13;AN21<=\$BP\$16);1;0)																													
	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																
8																															
9																															
10																															
11																															
12																															
13	Início	1	30	59	88	30	30	30	30	59	30	30	88	88	88	88	84	106	88	49	30	30	30	1	59	1	88	1	88	30	
14	IMC	1	30	59	88	30	30	30	30	59	30	30	88	88	88	88	84	106	88	49	30	30	30	1	59	1	88	1	88	30	
15	IMT	1	30	59	88	114	117	119	119	94	101	101	123	102	120	120	119	120	120	120	120	120	120	119	120	120	115	102	120	1	
16	Fim	29	58	87	137	53	50	48	48	83	48	48	102	105	105	105	102	123	105	66	47	47	47	18	77	18	105	23	105	47	
17	Delay	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	Folga	0	0	0	0	84	87	89	89	35	71	71	35	14	32	32	35	14	32	71	90	90	90	119	60	119	32	114	14	90	
19																															
20																															
21		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
22																															
183	AC	1:0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
184	AD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
185	AE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
186	AF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
187	R23 AG	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
188	AH	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
189	AI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	AJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
191	AK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
192	SOMA	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Fonte: Produção do próprio autor

Desta forma constatou-se que o recurso R23, foi alocado para executar ao mesmo tempo as tarefas AG e AH o que inviabilizaria a execução das tarefas. Esse mesmo problema ocorre com diversas outros recursos.

Assim, foi necessário adicionar duas restrições ao modelo. A primeira fazendo o uso das folgas obtidas através da diferença entre o início mais tarde (IMT) e o início mais cedo (IMC). A outra é fazer o uso das somas verticais obtidas das tarefas executadas por um determinado recurso. A adição das restrições é apresentada na Figura 4.

A inserção das restrições de folga fez com que fossem adicionadas 42 células variáveis ao modelo especificada na planilha como variável delay, obtida através da diferença entre o início real de cada atividade e seu respectivo valor do IMC limitado à sua folga. A última restrição impede que a soma vertical das atividades executadas por um deter-

## ARTIGOS

minado recurso seja  $> 1$ , impedindo desta forma, que qualquer recurso alocado pelo Solver execute mais do que uma tarefa ao mesmo tempo. Com o objetivo de minimizar o número de restrições, foi utilizada a função MÁXIMO do Excel. Finalmente, o modelo no Solver ficou com 175 células variáveis e 216 restrições, possibilitando ao mesmo definir o executor de cada atividade e quando esta deve ser iniciada, objetivando minimizar o caminho crítico do projeto. Embora matematicamente e logicamente o modelo estivesse resolvido, o Solver não conseguiu encontrar uma solução viável para o problema devido ao grande número de variáveis. Foi usada a mesma lógica para resolver um subprojeto com 19 tarefas no Maple.

### 3.3 Resultados e Discussões

Os objetivos iniciais do projeto foram plenamente atingidos (Tabela 4), embora não através da programação linear inicialmente projetado, mas sim através da programação não linear.

Tabela 4 - Resultado de alocação dos recursos no Maple

Tarefas	Abrev.	Recurso atribuído	Início
1 ESTUDO 1	A	R1	1
		29	
2 ESTUDO 2	B	R1	30
		29	
3 ESTUDO 3	C	R1	59
		29	
***		***	
17 MONT. CENTRAL ELÉTRICA	A N	R28	30
		19	
18 MONT. CABOS BATERIAS	AO	R27	77
		18	
19 MONT. MÓDULOS ELETRÔN.	AP	R27	1
		18	

Fonte: Produção do próprio autor

## 4. CASO 2: FUNDIÇÃO

O Solver foi a ferramenta utilizada para desenvolver o modelo matemático com o objetivo de executar de forma automática e apresentar uma programação diária visando o atendimento do plano mestre e das restrições existentes no sequenciamento da fundição em estudo. O desenvolvimento da ferramenta foi feito para a Fundição II, pois ela é mais crítica e sensível às mudanças de liga e temperatura, devido ao funcionamento com forno vazador.

As restrições que devem ser levadas em consideração no momento da programação são apresentadas na Figura 5 e as explicações das mesmas serão descritas em seguida.

Figura 5 - Planilha atual de planejamento da fundição

Item	Caixas	Liga	Data	Destino Acabamento	FC	Peso Conj. Kg	KG Total
208.260-B	290	0 - 0,020	10/mal	Acab Interno Fundicao I - BR	1360 - 1360	111,00	32.150,0
208.87-B	190	0 - 0,017	10/mal	Mavifer	1400 - 1420	69,60	6.960,0
208.47-B	125	0,020 - 0,025	10/mal	Sometal	1390 - 1410	64,62	8.077,5
14.212-B	190	0,020 - 0,025	10/mal	Sometal	1390 - 1410	47,28	4.728,0
208.136-B	190	0,020 - 0,025	10/mal	Mavifer	1390 - 1410	81,70	8.170,0
208.104-B	190	0,020 - 0,025	10/mal	Mavifer	1390 - 1410	77,23	7.723,0
16.44-B	35	0,020 - 0,025	10/mal	Acabpecas	1370 - 1380	70,13	2.454,6
14.211-B	190	0,045 - 0,055	10/mal	Acabpecas	1370 - 1380	83,35	8.335,0
14.212-B	190	0,045 - 0,055	10/mal	Acabpecas	1360 - 1380	94,22	9.422,0
14.197-B	190	0,035 - 0,040	10/mal	Acabpecas - BR	1370 - 1390	113,45	11.345,0
305.44-B	190	0,035 - 0,040	11/mal	Sometal - BR	1370 - 1390	143,40	14.340,0
20.80-B	290	0,080 - 0,090	11/mal	Sometal - BR	1390 - 1410	154,40	15.090,0
28.39-B	50	3,2 - 3,5	11/mal	Acab Interno Fundicao I - BR	1390 - 1410	140,40	5.400,0
28.21-B	50	3,2 - 3,3	11/mal	Acab Interno Fundicao I - BR	1420 - 1430	108,00	5.910,0
30.34-B	50	3,2 - 3,3	11/mal	Acab Interno Fundicao I - BR	1410 - 1440	20,89	1.544,5
311.62-B	50	3,2 - 3,5	11/mal	Acab Interno Fundicao I - BR	1380 - 1400	131,20	6.560,0
311.96-B	50	3,2 - 3,5	11/mal	Acab Interno Fundicao I - BR	1390 - 1410	120,74	6.037,0

Fonte: Produção do próprio autor

- Liga: pode ser visualizada na terceira coluna e o modelo matemático deve evitar uma alta variação de liga de um item para outro, para minimizar as paradas de máquina por setup;
- Destino de acabamento: apresentado na quinta coluna, onde o modelo deve visar o balanceamento das quantidades de peças destinada ao acabamento interno e exter-

no para não acumular nem faltar peças a serem usinadas;

- Temperatura: apresentada na sexta coluna, onde deve-se evitar um alto gradiente de temperatura de um item para outro, com objetivo de minimizar as paradas de máquina por setup;
- Peso conjunto da peça: evidenciada na sétima coluna, onde o modelo deve levar em consideração uma sequência de itens com pesos balanceados, de modo a obter uma demanda constante de metal líquido em equilíbrio com a oferta de metal disponível no forno;

Tabela 5 - Plano mestre de produção customizado

Plano Mestre W37						
Liga	Item	Semana	Data			
		A TR A S O	H O J E	37	38	
				09/09	16/9/2013	17/9/2013
Nodular	08.14-B					
	08.15-B	20				
	14.227-B	121		33	58	25
	14.240-B	216	26	17	35	17
	14.241-B					
	14.247-B	11				12
	14.253-B					9
	16.20-B	179	112	112	112	218
	16.68-B					
	16.73-B					20
	16.74-B	34	26	50	21	30
	16.75-B	42	38	74	38	43
	16.77-B				35	35
	17.09-B					51
	17.10-B					8

Fonte: Produção do próprio autor

- Peso total: visualizada na oitava coluna, onde o modelo deve estabelecer uma sequência balanceada de peso total. Essa sequência não pode passar de doze toneladas por horas, que é a capacidade do forno vazador.

#### 4.1 Sequenciamento

Diante das informações coletadas com os problemas existentes de restrição de fusão e moldagem, foi realizado o desenvolvimento da ferramenta atendendo às necessidades da produção e do planejador.

Para desenvolver a ferramenta, primeiramente foi inserido o plano mestre no modelo matemático. Este PMP é gerado duas vezes por semana na empresa em estudo, mostrando a necessidade de produção durante um horizonte de planejamento de quatro semanas, customizada para três dias e desmembrada do ferro cinzento que, além da temperatura bem diferente, tem composição bem diferente do ferro nodular, composto de estanho e silício. A Tabela 5 mostra o plano mestre PMP customizado.

Após a inserção do plano mestre, foram inseridas as informações sobre as características dos itens produzidos na Fundição II, como:

- Peso unitário da peça e do conjunto;
- Gradiente de liga (Sn + Si);
- Destino do acabamento;
- Número de figuras que representa a quantidade de peças oriundas em cada molde;
- Temperatura de processamento;
- e
- Demanda máxima e mínima que cada item pode produzir em um dia.

Estas informações podem ser visualizadas na Tabela 6.

## ARTIGOS

Tabela 6 - Plano mestre de produção customizado

Item	Peso Unitário da Peça	Peso unitário do Conjunto	Número de figuras	Sn + Cu		Destino Acabamento	Temperatura		Mínimo se tiver demanda	Máximo
08.14-B	17,35	156	6	0,045	0,055	Sometal	1390	1410	50	150
08.15-B	15,85	144,36	6	0,045	0,055	Sometal	1390	1410	50	150
14.151-B	22,05	148,5	4	-	0,010	Acab Interno Fundicao I	1410	1430	50	100
14.197-B	18,02	113,45	4	0,035	0,040	Acab Interno Fundicao I - BR	1370	1390	50	100
14.199-B	50,47	190,05	2	-	0,015	Acab Interno Fundicao I - BR	1390	1410	50	100
14.207-B	10,8	67,5	3	0,020	0,025	Acab Interno Fundicao I	1390	1410	50	200
14.226-B	11,53	149,13	7	0,015	0,020	Acab Interno Fundicao II	1390	1410	50	200
14.227-B	10,03	130,74	8	0,015	0,020	Acab Interno Fundicao II	1390	1410	50	200
14.228-B	9,95	122	8	0,015	0,020	Acab Interno Fundicao II	1390	1410	50	200
14.238-B	43,15	116,18	2	0,040	0,050	Mavifer	1370	1390	50	100
14.239-B	27,3	156	4	0,040	0,050	Sometal	1370	1390	50	100
14.240-B	11,8	113,55	6	-	0,015	Acab Interno Fundicao I	1390	1410	100	100
14.241-B	42,9	136	2	0,020	0,025	Acab Interno Fundicao I - BR	1360	1380	50	100

Fonte: Produção do próprio autor

Inicialmente foram calculadas as demandas provisórias com base no plano mestre. Após a inclusão destas demandas e das características necessárias dos itens, deu-se início ao modelamento matemático levando em consideração as seguintes etapas:

- 1) Para fazer a programação diária considerando três dias, foi analisado a demanda do plano mestre para os respectivos horizontes, a fim de atingir a produção de dois mil quinhentos moldes que é a meta diária da fundição. Para tanto, quando este objetivo não é alcançado, a folga é preenchida proporcionalmente com a demanda em atraso.
- 2) Após o conhecimento das demandas dos três dias analisados, foi comparada a programação de cada dia com as quantidades mínimas de fabricação, que variam de acordo com o item. Quando a soma dos três dias for inferior à quantidade mínima, o valor passa a ser o número informado como mínimo na posição do primeiro dia. Se na operação a quantidade total do dia ultrapassar a meta estabelecida, o mesmo é realocado para o segundo dia, e assim por diante. Caso a demanda for superior à mínima, os valores continuam os mesmos. Mas se a programação for maior que a máxima, o saldo será o limite. Estas observações são mostradas na tabela 7

Tabela 7 - Detalhamento da demanda revisada

Plano mestre W37						Mínimo provisório 1			Mínimo provisório 2			Mínimo provisório 3			10		11							
		Semana		Data Prod.		amanhã	depois	+depois	mín. pos.	amanhã	depois	+depois	mín. pos.	amanhã	depois	+depois	mín. pos.	Total 3 dias	Mínimo	Máximo				
		ATRASSO	HOJE	30	31																			
Item	Pecas/Moldes	29/08	30/08	02/09	03/09																			
14.226-B	8	157	99	99	99	21	126	114	126	2	21	126	114	21	1	21	126	114	21	1	365	50	200	
14.227-B	8	22	29	33	66	36	69	2	69	2	36	69	2	2	3	36	69	2	2	3	121	50	200	
307.14-B	4					0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	50	200	
307.17-B	1		41			0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	50	300	
311.66-B	6					0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	50	100	
311.73-B	1			2		2	0	0	2	1	50	0	0	50	1	50	0	0	50	1	2	50	100	
33.08-B	2	300	45	14	14	21	55	67	50	67	2	55	67	50	67	2	55	67	50	67	2	349	50	200
36.02-B	5			94		0	94	0	94	2	0	94	0	94	2	50	0	50	50	1	94	50	100	
36.04-B	6	32	19	26		23	5	29	29	3	23	5	29	29	3	50	50	0	50	1	77	50	100	
<b>Total</b>		<b>4846</b>	<b>1639</b>	<b>1723</b>	<b>1543</b>	<b>1926</b>																		
<b>Percentual</b>			<b>0,157</b>	<b>0,146</b>	<b>0,177</b>	<b>0,099</b>																		
<b>Diferença</b>			<b>761</b>	<b>677</b>	<b>857</b>	<b>474</b>																		
<b>Meta Dia</b>			<b>2400</b>	<b>2400</b>	<b>2400</b>	<b>2400</b>																		

Fonte: Produção do próprio autor

3) Depois de calculada a demanda provisória para os três dias, de forma a atender os limites de produção máxima e mínima, foi elaborada uma fórmula para classificar os itens por temperatura e liga para os dias programados. Esta classificação segue a forma de uma “onda”, iniciando com as porcentagens de liga baixo, aumentando os valores e novamente diminuindo, chegando até aos valores semelhantes aos do princípio. A Tabela 8 mostra o caso, destacado em azul.

Tabela 8 - Amostra da classificação das ligas

Classificação das ligas		Mínimo			Máximo	Item	SnO <sub>2</sub> _m	SnO <sub>2</sub> _M	T <sub>min</sub>	T <sub>max</sub>	Kg_molde	Mn	Max	Mínimo			Máximo			
amanhã	depois	+depois	por da	depois										+depois	por da	Máximo				
24	54	9	24	0	50	1	14.74-B	0,02	0,025	1390	1410	101,57	50	100	0	50	50	50		
25	13	10	25	0	50	82	208.245-B	0,02	0,025	1390	1410	135	50	100	0	50	50	82	100	
26	53	11	26	67	122	66	255	27.09-B	0,025	0,03	1360	1380	225,74	34	34	34	34	34	255	
27	14	12	27	0	50	50	87	208.163-B	0,025	0,03	1380	1400	197,44	50	100	0	50	50	87	100
28	52	1	28	50	0	0	3	311.07-B	0,03	0,035	1360	1380	78	50	100	50	0	0	50	50
29	15	2	29	50	0	0	7	311.37-B	0,03	0,035	1370	1390	166	50	100	50	0	0	50	50
30	51	3	30	50	50	50	137	311.64-B	0,03	0,035	1380	1400	159	50	100	50	50	50	100	150
31	16	4	31	0	50	50	89	16.76-B	0,035	0,04	1380	1400	230	50	100	0	50	50	89	100
32	50	1	32	50	50	0	77	36.04-B	0,04	0,05	1370	1390	186,19	50	100	50	50	0	77	100
33	17	2	33	0	70	0	67	208.210-B	0,045	0	1390	1410	142	70	140	0	70	0	70	70
34	49	3	34	50	0	50	99	208.271-B	0,045	0,055	1380	1400	148	50	100	50	0	50	99	100
35	18	4	35	50	50	50	128	14.252-B	0,04	0,05	1370	1390	174,65	50	100	50	50	50	100	150
36	48	1	36	50	50	50	139	311.65-B	0,03	0,035	1380	1400	175,8	50	100	50	50	50	100	150
37	19	2	37	50	0	50	74	208.38-B	0,03	0,035	1380	1400	144	50	100	50	0	50	74	100
38	47	3	38	50	0	50	94	36.02-B	0,03	0,035	1360	1380	166,7	50	100	50	0	50	94	100
39	20	4	39	50	0	0	2	311.73-B	0,03	0,035	1350	1370	220	50	100	50	0	0	50	50
40	46	5	40	50	50	0	57	16.73-B	0,025	0,03	1380	1400	210	50	80	50	50	0	57	100
41	21	1	41	114	114	121	349	33.03-B	0,02	0,025	1390	1410	137,44	50	200	114	114	121	200	349
42	45	2	42	50	0	0	21	208.235-B	0,02	0,025	1390	1410	116	50	100	50	0	0	50	50
43	22	3	43	50	50	50	122	208.46-B	0,02	0,025	1380	1400	99,44	50	100	50	50	50	100	150
44	44	4	44	0	0	100	98	208.29-B	0,02	0,025	1380	1400	127,59	100	200	0	0	100	100	100
45	23	5	45	50	0	0	6	208.213-B	0,02	0,025	1380	1400	130	50	200	50	0	0	50	50
46	43	6	46	48	53	72	173	16.74-B	0,02	0,025	1380	1400	118	50	100	50	53	72	100	175
47	24	7	47	90	81	82	253	14.77-B	0,02	0,025	1380	1400	118,38	50	150	90	81	82	150	253
48	42	8	48	50	0	50	76	16.68-B	0,02	0,025	1370	1390	208	50	50	50	0	50	50	100
49	25	9	49	109	108	198	415	311.55-B	0,02	0,025	1360	1380	235,21	50	75	75	75	75	75	415

Fonte: Produção do próprio autor

4) Em seguida, foram transferidos os dados da Tabela 8 para o modelo. Também foram considerados outros dados na execução da ferramenta, como:

- Hora de produção e turno: informa o momento exato em que os itens de-

## ARTIGOS

vem ser produzidos, resultando em uma melhor rastreabilidade e também serve como base para liberação das ordens de produção;

- Diferenças de caixas: onde se compara a quantidade de caixas de moldes que o Solver vai calcular para ser feito com a quantidade de moldes que realmente podem ser produzidos com o metal disponível no forno. O valor em absoluto da soma dessas diferenças teve como objetivo mini-

mizá-la, pois com isso obtêm-se um melhor aproveitamento dos recursos. Este resultado foi considerado a célula objetivo do Solver;

Figura 6 - Parâmetros do Solver

Minimizar $\sum  Csa - Cv $	Onde:
Sujeito a:	Csa – Caixas solucionadas pelo Solver acumuladas.
$\left\{ \begin{array}{l} Cs \leq Cpm \\ Cs \geq Dpv \\ Cs = NI \\ \sum Csa \leq 2500 \end{array} \right.$	Cv – Caixas que poderiam ser moldadas com metal disponível.
	Cs – Caixas solucionados pelo Solver.
	Cpm – Capacidade máxima por dia de cada item.
	Dpv – Demanda prévia prevista por dia de cada item.
	NI – Números inteiros

Fonte: Produção do próprio autor

- **Peso total:** que é a quantidade de moldes multiplicada pelo peso do conjunto do item;

- **Diferença de tonelagem:** que considera a diferença entre metal disponível no forno e metal necessário para processar os moldes que serão calculados pelo Solver;

Com isso, os parâmetros do Solver podem ser definidos conforme Figura 6.

Após se conhecer as células de restrição e a objetivo, foi possível estabelecer as células variáveis e o resultado do cálculo da quantidade de caixas de molde que apontado como a melhor solução. Na Tabela 9 podem ser visualizadas estes dados.

Tabela 9 - Resultado do Solver

Tempo		Célula objetivo 50900			Demanda				Restrições/Informações				Diferença de Peso						
Hora	Turno	Dif. Caixas	Cxs possí.	Cxs acum.	Soluçã	Item	Amanhã	Depois	+depois	Máx/dia	Peso molde	Liga	Temperatura	Peso total	Peso acum.	Peso disp.	Dif. Peso		
0 h 20	1	29	63	34	34	27.12-B	34	34	34	34	222	-0,015	0	1360	1380	7548	4080	3468	
0 h 20	1	29	63	34	0	307.15-B	0	0	0	50	20	0	0,01	1390	1410	0	7548	4080	3468
0 h 20	1	29	63	34	0	16.21-B	0	0	200	200	10,32	0	0,015	1390	1410	0	7548	4080	3468
0 h 41	1	31	99	68	34	27.10-B	0	34	0	34	126	0	0,02	1370	1390	4284	11832	8160	3672
2 h 41	1	154	114	268	200	16.20-B	200	200	200	400	9,45	0	0,015	1390	1410	1890	13722	32160	18438
3 h 37	1	233	128	361	93	307.09-B	93	93	93	200	17,55	0	0,01	1380	1400	1632	15354	43320	27966
3 h 37	1	233	128	361	0	27.16-B	0	0	0	50	0	0,01	0,02	1370	1390	0	15354	43320	27966
3 h 37	1	233	128	361	0	27.31-B	0	0	0	50	0	0,015	0,02	1370	1390	0	15354	43320	27966
3 h 37	1	233	128	361	0	27.28-B	0	50	0	50	0	0,015	0,02	1370	1390	0	15354	43320	27966
4 h 25	1	301	141	442	81	302.183-B	81	50	87	150	18,63	0,015	0,02	1380	1400	1509	16863	53040	36177
4 h 55	1	347	145	492	50	14.226-B	50	130	118	200	11,53	0,015	0,02	1390	1410	577	17440	59040	41600
5 h 16	1	370	156	526	34	302.178-B	34	34	34	34	38,98	0,015	0,02	1380	1400	1325	18765	63120	44355
6 h 17	1	454	175	629	103	302.182-B	103	56	99	150	22,1	0,015	0,02	1380	1400	2276	21041	75480	54439
6 h 47	1	485	194	679	50	17.10-B	50	0	0	81	45,53	0,015	0,02	1370	1390	2277	23318	81480	58162
7 h 17	1	516	213	729	50	17.09-B	50	0	0	100	45,53	0,015	0,02	1370	1390	2277	25594	87480	61886
7 h 38	1	500	263	763	34	208.151-B	34	0	0	34	175	0,02	0,025	1350	1370	5949	31543	91560	60017
7 h 38	1	500	263	763	0	208.290-B	0	0	0	50	0	0,02	0,025	1370	1390	0	31543	91560	60017
9 h 38	2	676	287	963	200	208.30-B	200	100	106	200	14,7	0,02	0,025	1380	1400	2940	34483	115560	81077
9 h 38	2	676	287	963	0	208.213-B	0	0	0	50	14,93	0,02	0,025	1380	1400	0	34483	115560	81077
9 h 38	2	676	287	963	0	208.245-B	0	0	0	82	30,6	0,02	0,025	1390	1410	0	34483	115560	81077
10 h 15	2	714	311	1025	62	33.03-B	62	73	57	200	45,75	0,02	0,025	1390	1410	2837	37320	123000	85680
10 h 15	2	714	311	1025	0	208.275-B	0	0	0	50	39,4	0,02	0,025	1380	1400	0	37320	123000	85680
10 h 45	2	753	322	1075	50	16.74-B	50	50	57	100	25,23	0,02	0,025	1380	1400	1262	38581	129000	90419
10 h 45	2	753	322	1075	0	16.64-B	0	50	50	50	54,88	0,02	0,025	1370	1390	0	38581	129000	90419
10 h 45	2	753	322	1075	0	14.241-B	0	50	0	60	42,9	0,02	0,025	1360	1380	0	38581	129000	90419
11 h 5	2	748	361	1109	34	27.09-B	34	34	34	34	140,1	0,025	0,03	1360	1380	4767	43343	133080	89737
11 h 5	2	748	361	1109	0	208.38-B	0	50	0	74	28,78	0,03	0,035	1380	1400	0	43343	133080	89737

Fonte: Produção do próprio autor



#### 4.2 Comparação das programações

Com a programação realizada pelo Solver concluída, foi possível fazer o comparativo com o sequenciamento feito anteriormente à ferramenta.

O sequenciamento utilizado anteriormente era feito de forma manual, através de análise de carteira de pedidos e do plano mestre de produção, item a item, sem considerar as características de temperatura e liga de cada peça, apenas baseado no conhecimento tácito do planejador.

A ferramenta permitiu agilizar a programação, minimizar o tempo do programador com análises operacionais e facilitar no caso de possíveis alterações na programação que podem ocorrer durante o dia. Com o modelo é possível realizar ajustes nos parâmetros de lead time e estoque de segurança de cada item, permitindo executar um sequenciamento mais adequado.

### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A programação matemática é uma poderosa ferramenta inserida na PO que oferece inúmeras possibilidades de aplicação no gerenciamento de projetos, sobretudo no emprego para o encontro de soluções ótimas para alocação de recursos que foi o estudo central dos presentestrabalhos, nos quais forama base para o cumprimento dos demais objetivos dos projetos.

#### **APPLICATION OF OPERATIONS RESEARCH ON SEQUENCING AND PROJECT MANAGEMENT IN BIG COMPANIES: MULTICASE STUDY**

**Abstract:** *This work aims to present the possibility of application of mathematical programming techniques for troubleshooting sequencing as well as estimation of time, cost and resource allocation in project management. For this purpose, two cases, one in each company werestudied. In the first study, a model was developed in order to enable the efficient use of historical project data from a bus manufacturer to optimize the total time of projects with the appropriate use of resources. The second study was conducted in a large foundry of Joinville, where it was developed a production scheduling and sequencing tool, seeking to suit the quantity of molds to the capacity of the ovens and the different types of alloys.*

**Keywords:** *Project management. Operational research. Linear programming. Production scheduling and sequencing. PERT-CPM.*



## ARTIGOS

### REFERÊNCIAS

BERSSANETI, Fernando Tobal; CARVALHO, Marly Monteiro de; MUSCAT, Antônio Rafael Namur. **Impacto dos modelos de referência e maturidade no gerenciamento de projetos: estudo exploratório em tecnologia da informação.** Produção, v. 22, n. 3, p. 405-420, mai/ago. 2012.

FILHO, João Severo. **Administração de logística integrada.** 2. ed. Rio de Janeiro: E- Papers, 2006.

GRAY, Clifford F; LARSON, Erik W. **Gerenciamento de Projetos: O Processo Gerencial.** 4 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2009.

GRAZIANI, Álvaro Paz. Planejamento, **Programação e Controle da Produção.** Palhoça: UnisulVirtual, 2012.

PASSOS, Eduardo José Pedreira dos. **Programação linear como instrumento da pesquisa operacional.** São Paulo: Atlas, 2008.

PMBOK, Guia. **Conhecimento em Gerenciamento de Projetos.** 4ª ed. 2008.

SANTOS, Ricardo França; JUNIOR, Eugênio Correa de Souza; BOUZADA, Marco Aurélio Carino. **A Aplicação da Programação Inteira na Solução Logística do Transporte de Carga: O Solver e Suas Limitações na Busca Pela Solução Ótima.** Produção Online.v. 12, n. 1, p. 185-204, jan/mar. 2012.