

**Programação de head count minimizando o problema de itens fora do prazo  
em uma operação logística via programação não linear****ADRIANA PAULA GONÇALVES**Faculdade de Tecnologia Fatec Bragança Paulista  
adriana.goncalves@outlook.com**FELIPE ALVES DE SOUSA**Centro Paula Souza  
fe-lipealves@hotmail.com



## **PROGRAMAÇÃO DE HEAD COUNT MINIMIZANDO O PROBLEMA DE ITENS FORA DO PRAZO EM UMA OPERAÇÃO LOGÍSTICA VIA PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR (SOLVER)**

### **Resumo**

Este artigo tem como objetivo a distribuição de mão de obra como foco em minimização de itens produzidos fora de um determinado prazo devido à alta demanda. A resolução proposta é feita através de programação não linear, que diante de um problema não-convexo encontra uma solução viável próxima ou igual a uma solução ótima. O problema consiste em processar os itens de forma a obter um balanceamento operacional obtendo o mínimo de itens fora do prazo, sem nenhum represamento, apesar da alta demanda. Sendo um problema não linear e não-convexo, a aplicação de método GRG-Não Linear (Solver) para sua resolução se justifica, por apresentar boas soluções sem grande custo computacional, pois será resolvido dentro de uma planilha do Excel. Os resultados computacionais obtidos foram satisfatórios e podem ser utilizados em diversos processos operacionais.

**Palavras-chave:** Programação Não Linear, Solver, Head Count

### **Abstract**

This article aims at the distribution of labour as a focus on minimizing items produced outside of a finished term due to high demand. The proposed resolution is made through non-linear programming, which in the face of a non-convex problem finds a feasible solution close to or equal to an optimal solution. The problem is to process the items in a logistics process in order to obtain an operational balance obtaining the minimum of items out of time, without any impoundment, despite the high demand. As a non-linear and non-convex problem, the application of GRG-Nonlinear (Solver) method for its resolution is justified, because it presents good solutions without great computational cost, because it will be solved within an Excel worksheet. The obtained computational results were satisfactory and can be used in several operational processes.

**Keywords:** Nonlinear Programming, Solver, Head Count.



## **1. Introdução**

A área de Programação e Controle Operacional (PCO) abrange todas as atividades que envolvem o planejamento e controle de processos, principalmente o de mão de obra efetiva (Head Count). Neste artigo iremos demonstrar como a distribuição de Head Count impacta no resultado operacional e consequentemente financeiro da empresa. A programação de Head Count é de grande aplicação nas mais variadas áreas, tais como indústrias, hospitais, empresas de transporte, Centros de Distribuição, escolas e universidades.

A resolução deste problema, ou melhor, alternativa viável é considerada como um importante marco para o sistema operacional, uma vez que não é comum autores realizarem testes computacionais e comparações entre diferentes técnicas. Dentre uma grande variedade de abordagens (métodos sequenciais, métodos baseados em restrições, etc.) para o problema, têm se destacado a utilização de programação não linear. Este artigo utiliza um suplemento do Excel, o Solver, de modo que os resultados dos testes possam ser comparados com os melhores resultados possíveis obtidos, além de verificar a eficiência do aperfeiçoamento criado. A realização do trabalho é justificada pela importância do problema e também pela colaboração teórica ao tema.

Inicialmente, é apresentada uma introdução sobre o tema abordado. Em seguida, a metodologia utilizada para aplicação das técnicas pesquisadas é mostrada. Os resultados obtidos são apresentados na sequência. A conclusão e propostas de trabalhos futuros finalizam o artigo.

## **2. Referencial Teórico**

Primeiro examinamos os processos operacionais e seus detalhes. De acordo com ANDRADE (2000), a pesquisa operacional iniciou na segunda guerra mundial e desde então têm se expandido à administração e o mundo acadêmico. Devido à concorrência ocasionada pela globalização, MORETTI (2005) destaca ferramentas para gerenciamento de estoques visando a sobrevivência de operadores logísticos ao longo prazo, também NOVAES (2001) exemplifica a evolução da logística e suas tecnologias.

Identificamos métodos matemáticos que auxiliam na resolução de problemas logísticos, Bazaraa e Sherali (1993) evidenciam a teoria de programação não linear, Francisco (2005) em sua tese mostra sua viabilidade e por sua vez, Lobato (2009) mostra suas variáveis.

A partir da definição de área de atuação (Logística) e método a ser utilizado (Programação não linear) buscamos ferramentas de fácil acesso para resolução do problema, Berger (2007) nos mostra as ferramentas do Excel voltados a análise de dados e estatística e Mark (2013) dedica um livro completo sobre o suplemento Solver do Excel.

## **3. Programação Não Linear**

A Programação Não Linear é utilizada para encontrar uma solução viável e próximo a solução ótima de um determinado problema, através de aproximações convexas, onde o programa é dividido em subclasses para ser resolvido com aproximações convexas ou lineares que formam um limite dentro da subdivisão. Com as divisões posteriores, em algum ponto uma solução real será obtida e será igual ao melhor limite obtido para qualquer uma das soluções aproximadas. Esta solução é ótima, embora possivelmente não seja única.

Existem diversas ferramentas para resolução de problemas de programação não linear, algumas conhecidos e práticas que encontram boas soluções locais e até mesmo soluções



ótimas. Temos o Lindo, AMPL e Excel Solver. Neste artigo utilizaremos o método GRG Não Linear do Excel Solver.

#### 4. Metodologia

Trata-se de um problema geralmente encontrado em empresas, que apresentam, como característica, a produção desbalanceada e itens sendo processados fora do prazo. Na variação estudada neste artigo, busca-se alocar as pessoas em áreas fixas ao longo do dia, tendo como base o Back Log que é a quantidade de itens a serem processados, e tendo em vista a cadeia operacional inteira, ou seja, a finalização do processo.

O presente artigo tem como objetivo aplicar conceitos apresentados em seu referencial teórico de forma prática. Neste caso consiste em alocar várias pessoas em diversas áreas, sendo cada área com uma produtividade homem/hora diferente, com uma demanda que oscila diariamente, ao longo de dias ou meses com um alto Back Log e o objetivo é processar devidamente, com o mínimo ou nenhum item fora do prazo, sem represar, e manter o processo operacional balanceado entre as áreas, respeitando ao máximo um conjunto pré-estabelecido de restrições.

##### 4.1. Aplicação do Caso

O problema é distribuir 15 colaboradores em 2 áreas do Inbound de uma Logística (Recebimento e Armazenagem), com uma carga horária de 8,2 h de segunda a quinta e 7,2 h na sexta o que totaliza 40 horas semanais. A área do recebimento tem uma média de produtividade Homem Hora (H/h) de 160 itens processados e a área de armazenagem tem uma média de produtividade H/h de 190 itens.

O Back Log inicial (segunda-feira) na área de recebimento é de 12.000 itens e na área da armazenagem 8.000 itens e o agendamento da semana é de 50.000 conforme exemplificação abaixo:

Tabela1- Agenda

DIA	DIA DA SEMANA	AGENDAMENTO	HORAS TRABALHADAS TOTAL
1	Segunda-Feira	10.000	123 (15 colab * 8,2 horas)
2	Terça-Feira	12.000	123 (15 colab * 8,2 horas)
3	Quarta-Feira	9.000	123 (15 colab * 8,2 horas)
4	Quinta-Feira	9.000	123 (15 colab * 8,2 horas)
5	Sexta-Feira	10.000	123 (15 colab * 7,2 horas)
		50.000	600

BACK LOG RECEBIMENTO	BACK LOG ARMAZENAGEM
12.000	8.000

PRODUTIVIDADE	
RECEBIMENTO H/h	ARMAZENAGEM H/h
160	190

Fonte: Autoria Própria

O cálculo de previsão de demanda é dado pela Formula:

$$B.I + E - P = B.F$$

Onde “B.I” é o Back Log Inicial, “E” é a Entrada (Agendamento), “P” é a Produção e “B.F”, é o Back Log Final.



Existe outro indicador que é chamado de “Caixa” que indica o total de itens a serem processados, pois os itens que são processados no Recebimento passam para o processo de Armazenagem, ou seja, os itens do recebimento serão processados 2 vezes enquanto os itens da Armazenagem que é a última operação são processados uma única vez.

A fórmula é dada por:

$$\text{Caixa} = \text{B.F Recebimento} \times 2 + \text{B.F Armazenagem}$$

Atualmente a empresa trabalha com o quadro fixo de 8 colaboradores no setor do Recebimento e 7 colaboradores no setor da Armazenagem, dado as condições acima, e as fórmulas citadas, segue a programação que indica o processo operacional ao longo da semana:

Tabela 2: Cenário Atual

ACUMULADO	HOJE	D+1	D+2	D+3	D+4	TOTAL
Back Log Inicial	20.000	19.094	20.188	18.282	16.376	93.940
Entrada	20.496	22.496	19.496	19.496	19.216	101.200
Produção	21.402	21.402	21.402	21.402	18.792	104.400
Back Log Final	19.094	20.188	18.282	16.376	16.800	90.740
Caixa	30.598	33.196	29.794	26.392	27.600	147.580
Colaboradores	15	15	15	15	15	75

RECEBIMENTO	HOJE	D+1	D+2	D+3	D+4	TOTAL
Back Log Inicial	12.000	11.504	13.008	11.512	10.016	58.040
Entrada	10.000	12.000	9.000	9.000	10.000	50.000
Produção	10.496	10.496	10.496	10.496	9.216	51.200
Back Log Final	11.504	13.008	11.512	10.016	10.800	56.840
Colaboradores	8	8	8	8	8	40

ARMAZENAGEM	HOJE	D+1	D+2	D+3	D+4	TOTAL
Back Log Inicial	8.000	7.590	7.180	6.770	6.360	35.900
Entrada	10.496	10.496	10.496	10.496	9.216	51.200
Produção	10.906	10.906	10.906	10.906	9.576	53.200
Back Log Final	7.590	7.180	6.770	6.360	6.000	33.900
Colaboradores	7	7	7	7	7	35

Fonte: Autoria Própria





Outro ponto de atenção é que o prazo para receber e armazenar é 24 horas corridas por processo, ou seja, do momento do agendamento, até entrada no estoque o prazo é de 48 horas.

No cenário atual temos uma perda no prazo de no mínimo 6.840 itens no Processo de Recebimento, pois ainda que eu siga a ordem de processar o primeiro que chega, o Setor do Recebimento teria produzido menos que o Back Log Inicial do dia:

Tabela 3: Produção e Prazo

ACUMULADO	HOJE	D+1	D+2	D+3	D+4	TOTAL
Back Log Inicial	20.000	19.094	20.188	18.282	16.376	93.940
Produção	21.402	21.402	21.402	21.402	18.792	104.400
Itens no Prazo	↑ 1.402	↑ 2.308	↑ 1.214	↑ 3.120	↑ 2.416	↑ 10.460

  

RECEBIMENTO	HOJE	D+1	D+2	D+3	D+4	TOTAL
Back Log Inicial	12.000	11.504	13.008	11.512	10.016	58.040
Produção	10.496	10.496	10.496	10.496	9.216	51.200
Itens no Prazo	↓ -1.504	↓ -1.008	↓ -2.512	↓ -1.016	↓ -800	↓ -6.840

  

ARMAZENAGEM	HOJE	D+1	D+2	D+3	D+4	TOTAL
Back Log Inicial	8.000	7.590	7.180	6.770	6.360	35.900
Produção	10.906	10.906	10.906	10.906	9.576	53.200
Itens no Prazo	↑ 2.906	↑ 3.316	↑ 3.726	↑ 4.136	↑ 3.216	↑ 17.300

Fonte: Autoria Própria

#### 4.1.2 Análise dos Resultados

Para obter os resultados esperado primeiramente é necessário dimensionar os dados para poder parametrizar no Solver.

A solução seria distribuir adequadamente as pessoas nas áreas, mas como fazer isso, sendo que temos um total de 1.048.576 ( $16^5$ ) possibilidades?



Tabela 4- Disposição dos dados

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	P
	SETOR	DATA	META	HORAS	Capacidade Colaborador	COLABORADORES	HORAS TRABALHADAS	Entrada	PRODUÇÃO	BACK LOG FINAL	BACK LOG INICIAL	Caixa	Produção - B.Inicial	Fora do Prazo	COLABORADORES / DIA
1															
2	RECEBIMENTO	HOJE	160	8,2	1.312	8	65,6	10.000	10.496	11.504	12.000	23.008	-1.504	-1.504	15
3	RECEBIMENTO	D+1	160	8,2	1.312	8	65,6	12.000	10.496	13.008	11.504	26.016	-1.008	-1.008	
4	RECEBIMENTO	D+2	160	8,2	1.312	8	65,6	9.000	10.496	11.512	13.008	23.024	-2.512	-2.512	15
5	RECEBIMENTO	D+3	160	8,2	1.312	8	65,6	9.000	10.496	10.016	11.512	20.032	-1.016	-1.016	
6	RECEBIMENTO	D+4	160	7,2	1.152	8	57,6	10.000	9.216	10.800	10.016	21.600	-800	-800	15
7	ARMAZENAGEM	HOJE	190	8,2	1.558	7	57,4	10.496	10.906	7.590	8.000	7.590	2.906	0	
8	ARMAZENAGEM	D+1	190	8,2	1.558	7	57,4	10.496	10.906	7.180	7.590	7.180	3.316	0	15
9	ARMAZENAGEM	D+2	190	8,2	1.558	7	57,4	10.496	10.906	6.770	7.180	6.770	3.726	0	
10	ARMAZENAGEM	D+3	190	8,2	1.558	7	57,4	10.496	10.906	6.360	6.770	6.360	4.136	0	15
11	ARMAZENAGEM	D+4	190	7,2	1.368	7	50,4	9.216	9.576	6.000	6.360	6.000	3.216	0	
12	Sub-Total					75	600	101.200	104.400	90.740	93.940	147.580	10.460	-6.840	15

Fonte: Autoria Própria

Para a solução deste problema utilizaremos o método GRG Não Linear. Primeiro precisamos estabelecer as restrições, que serão de 15 colaboradores por dia, uma quantidade de colaboradores estabelecidas como número inteiro e um Back Log maior que zero, para garantir o sistema de produção. Nosso objetivo será maximizar o número de itens atendidos dentro do prazo.



Tabela 5: Parametrização no Excel Solver

**Parâmetros do Solver**

Definir Objetivo:

Para: ☒ Máx. ☐ Mín. ☐ Valor de:

Alterando Células Variáveis:

Sujeito às Restrições:

- \$F\$2:\$F\$11 = número inteiro
- \$J\$2:\$J\$11 >= 0
- \$P\$10 = 15
- \$P\$2 = 15
- \$P\$4 = 15
- \$P\$6 = 15
- \$P\$8 = 15

☐ Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de

Método de Solução

Selecione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Selecione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Selecione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

**Ajuda** **Resolver** **Fechar**

Fonte: Autoria Própria

Após alguns minutos, e algumas tentativas a mais, o Solver nos proporciona o seguinte resultado:





Tabela 6: Resultado Solver

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	P
	SETOR	DATA	META	HORAS	Capacidade Colaborador	COLABORADORES	HORAS TRABALHADAS	Entrada	PRODUÇÃO	BACK LOG FINAL	BACK LOG INICIAL	Caixa	Produção - B.Inicial	Fora do Prazo	COLABORADORES / DIA
1															
2	RECEBIMENTO	HOJE	160	8,2	1.312	9	73,8	10.000	11.808	10.192	12.000	20.384	-192	-192	15
3	RECEBIMENTO	D+1	160	8,2	1.312	8	65,6	12.000	10.496	11.696	10.192	23.392	304	0	
4	RECEBIMENTO	D+2	160	8,2	1.312	9	73,8	9.000	11.808	8.888	11.696	17.776	112	0	15
5	RECEBIMENTO	D+3	160	8,2	1.312	7	57,4	9.000	9.184	8.704	8.888	17.408	296	0	
6	RECEBIMENTO	D+4	160	7,2	1.152	8	57,6	10.000	9.216	9.488	8.704	18.976	512	0	15
7	ARMAZENAGEM	HOJE	190	8,2	1.558	6	49,2	11.808	9.348	10.460	8.000	10.460	1.348	0	
8	ARMAZENAGEM	D+1	190	8,2	1.558	7	57,4	10.496	10.906	10.050	10.460	10.050	446	0	15
9	ARMAZENAGEM	D+2	190	8,2	1.558	6	49,2	11.808	9.348	12.510	10.050	12.510	-702	-702	
10	ARMAZENAGEM	D+3	190	8,2	1.558	8	65,6	9.184	12.464	9.230	12.510	9.230	-46	-46	15
11	ARMAZENAGEM	D+4	190	7,2	1.368	7	50,4	9.216	9.576	8.870	9.230	8.870	346	0	
12	Sub-Total					75	600	102.512	104.154	100.088	101.730	149.056	2.424	-940	15

Fonte: Autoria Própria

Desta forma, os “itens fora do prazo”, somando os dois processos reduziu-se para 940, ou seja, reduzimos os itens fora do prazo em 5.900, 86% melhor do que o cenário anterior.

Tabela 7: Resultado Final

ACUMULADO	HOJE	D+1	D+2	D+3	D+4	TOTAL
Back Log Inicial	20.000	20.652	21.746	21.398	17.934	101.730
Produção	21.156	21.402	21.156	21.648	18.792	104.154
Itens no Prazo	↑ 1.156	↑ 750	↓ -590	↑ 250	↑ 858	↑ 2.424

  

RECEBIMENTO	HOJE	D+1	D+2	D+3	D+4	TOTAL
Back Log Inicial	12.000	10.192	11.696	8.888	8.704	51.480
Produção	11.808	10.496	11.808	9.184	9.216	52.512
Itens no Prazo	↓ -192	↑ 304	↑ 112	↑ 296	↑ 512	↑ 1.032

  

ARMAZENAGEM	HOJE	D+1	D+2	D+3	D+4	TOTAL
Back Log Inicial	8.000	10.460	10.050	12.510	9.230	50.250
Produção	9.348	10.906	9.348	12.464	9.576	51.642
Itens no Prazo	↑ 1.348	↑ 446	↓ -702	↓ -46	↑ 346	↑ 1.392

Fonte: Autoria própria

## 6. Conclusão

Existem algumas situações que através de fórmulas matemáticas exatas não é possível encontrarmos a melhor solução dentre uma grande quantidade de possibilidades, neste artigo, estamos tratando apenas da distribuição de Head Count de 15 colaboradores em 2 setores ao longo de 1 semana, ou seja, mais de 1 milhão de possibilidades.

Na vida real, este número seria muito maior em todas as variáveis, tornando assim, o problema muito mais complexo. Para isso utilizamos de programação não linear e a ferramenta Solver do Excel é uma boa alternativa entre elas.

Com isso, a conclusão deste artigo é que para uma boa programação e distribuição de Head Count, basta alguns dados ordenados em uma planilha e estabelecer algumas restrições no suplemento Solver do Excel, e então, poderemos ter resultados melhores do que nosso planejamento inicial em até mais de 86%. Em nosso exemplo através da redistribuição de Head Count tivemos um ganho de 5.900 itens que foram armazenados no prazo em uma



empresa. Produtos em estoque refletem em vendas, supondo que o valor médio de venda desses itens é de R\$ 200,00 e que 30% desse estoque seja convertido em venda, esta ação terá gerado um ganho de R\$ 3.540.

## 7. Referencias

ANDRADE, Eduardo L. *Introdução à pesquisa operacional*. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

Bazaraa, M.S.; Sherali, H.D. & Shetty, C.M. (1993). *Nonlinear Programming - Theory and Algorithms*. Segunda edição, John Wiley & Sons, New York.

Berger, R. (2007) *Nonstandard operator precedence in Excel*. *Computational Statistics and Data Analysis*, 51: 2788-2791

FRANCISCO, J.de B. *Viabilidade em Programação Não-linear: Restauração e Aplicações*. 2005, 142f. Tese (doutorado), Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica. Universidade Estadual de Campinas.

LOBATO, Rafael Durbano. *Algoritmos para problemas de programação não-linear com variáveis inteiras e contínuas*. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. doi:10.11606/D.45.2009.tde-06072009-130912. Acesso em: 2017-08-15

Mark Harmon MBA. Copyright 2013 *Optimization With Excel Solver*. Step –BY-Step Optimization – With Excel Solver – The Excel Statistical Master

MIGUEL, Paulo A. C. *Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução*. *Revista Produção*. v.17, n.1, p. 216-229, 2007.

MORETTI, D. C. *Gestão de Suprimento em um Operador Logístico*. 2005, 150f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.

NOVAES, Antônio G. *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: estratégia, operação e avaliação*. Rio de Janeiro: Campus, 2001.