

Aplicação da Teoria das Restrições através da Programação Linear em Pequena Indústria de Produtos de Limpeza - um estudo simplificado.

Héber Lavor Moreira

Professor da Universidade Federal do Pará - UFPA

Resumo

No artigo evidenciamos a importância conceitual da Teoria das Restrições e a possibilidade de aplicação dos seus valores à Pequena Indústria de produtos de limpeza através da Programação Linear.

A premissa básica que é a hipótese que baliza o desenvolvimento desse trabalho preconiza a ideia de que é plenamente exequível a aplicação da Programação Linear para a resolução de problemas que evidenciem gargalos na área produtiva, nas pequenas indústrias. Portanto a *Meta* a ser perseguida é **otimizar a utilização dos recursos disponibilizados pela empresa, no sentido de aumentar seus ganhos**, tomando por base a utilização da Programação Linear.

No artigo, é desenvolvida de forma simples a concepção Teórica das duas técnicas e comprovadas, através de exemplo real simplificado e de análise, a hipótese definida.

In the article we have evidenced the conceptual importance of the Theory of the Restrictions and the possibility of the applications from their values to the Small Industry of the cleaning products through the linear schedule.

The basic Assumption that is hypotheses which measure the development this work beginning the idea that entirely possible the application of the linear schedule to the solution of the problems that evidence bottleneck in the productivity area in the small industries.

Therefore the *Target* to be looked for is optimize the using from the resources available by company in order to increase their gains taking by base the using of the linear schedule.

In the article is developed of the simple form the conception theoretic from the two tecnic and comproved through the real simplified example in the analysis the defined hypotheses.

Palavras-Chave

Teoria das Restrições; Programação Linear; Pequena Industria; Otimizar Recursos; Aumentar Ganhos.

Key Worlds

Theory of Constraints; Linear Schedule; Small Industry; Optimize Resources; Increase Gains.

Introdução

O processo de tomada de decisão, amadurecido (de forma isolada ou colegiada), esbarra cotidianamente, dentre as empresas de pequeno porte, em duas condicionantes básicas: **mercado** e **capital de giro**.

O **Mercado** que é um dos fatores limitativos à sobrevivência das empresas de pequeno porte, não raro deixa de ser obstáculo intransponível, dada a versatilidade dos empresários brasileiros, alguns egressos da economia informal e “ricos” de improvisações.

O **Capital de Giro** no entanto, ou melhor dizendo o pouco capital de giro de que dispõem para gerir os seus negócios é que passa a ser, diante desse quadro, o maior obstáculo a transpor, para dar longevidade ao empreendimento.

Essa situação que espelha a realidade empresarial brasileira, se reflete na pequena empresa de forma contundente, pois seus efeitos podem gerar a própria descontinuidade dos negócios.

Para o *gestor*, empresário ou executivo, passa a ser da maior importância a utilização da Teoria das Restrições (TOC) pois permite a tomada de decisões diante de fatores limitativos, utilizando os recursos escassos de que dispõem, com o objetivo de maximizar os seus ganhos.

É mister portanto, evidenciar alguns pontos, por demais relevantes, da Teoria das Restrições, com o objetivo básico de torna-la conhecida para os usuários do trabalho, bem como uniformizar conceitos e técnicas simplificadas de como otimizar os recursos financeiros da empresa.

Resumo Histórico da Teoria das Restrições

Em Israel, ainda estudante de Física, Goldratt desenvolveu estudos de otimização de recursos aplicáveis a uma fábrica de um amigo seu, que confeccionava gaiolas para aves.

“Essa formulação, tornou-se a base do software OPT (Optimized Production Technology) voltado à programação de produção”.¹

Tal software, concebido originariamente para otimizar os recursos aplicáveis na produção, passou a sofrer várias modificações com aprimoramentos decorrentes da experimentação prática da utilização do sistema, em diversas empresas.

Tal medida gerou resultados satisfatórios, no tocante ao desenvolvimento de uma verdadeira teoria de otimização de recursos, dando base à construção do OPT – Optimized Production Technology (tecnologia da produção otimizada).

Como evidencia GUEREIRO,² “Na segunda metade dos anos 80, nos Estados Unidos da América, Goldratt desenvolveu a Teoria das Restrições (TOC – Theory of Constraints), que pode ser entendida como uma ampliação do pensamento da tecnologia de produção otimizada, pois se utiliza, em grande parte, da sua teoria. Neste estágio de evolução técnica, Goldratt deparou-se com um problema: ele havia desenvolvido toda uma lógica de princípios que tinha como suporte um software extremamente potente, mas era necessário popularizar esse conhecimento e, evidentemente, o software. Em 1984, juntamente com Jeff Cox, editou ‘A Meta’. A genialidade desse livro está nas ideias nele contidas e reside na maneira como as mesmas são apresentadas”.

“Em resumo, a ênfase fundamental das ideias do autor é o alcance que ele denomina meta da organização, ou seja, ganhar dinheiro através de uma adequada gestão da produção. O ponto focal da sua teoria é que toda a empresa, no processo de atingir a sua meta, apresenta sempre uma ou mais restrições. Se assim não fosse, a empresa teria lucro infinito”³.

A restrição segundo o autor está configurada como sendo um fator limitativo a expansão dos negócios; seja no âmbito interno de produção ou seja no âmbito externo, portanto vinculada ao mercado.

Um bom exemplo a ser dado no âmbito interno, seria a limitação para acabar determinado produto em fabricação, decorrente de descompasso na capacidade produtiva dentre as máquinas provocando, por conseguinte, estoques intermediários.

¹ GUEREIRO, Reinaldo - “OS PRINCÍPIOS DAS TEORIAS DAS RESTRIÇÕES SOB A ÓTICA DA MENSURAÇÃO ECONÔMICA” – Cadernos de Estudos, São Paulo, FIPECAFI – Janeiro a Junho/1996.

² Ibidem, opus cit.

³ Idem, Ibidem, opus cit.

No âmbito externo poderemos afirmar como sendo a limitação pela baixa demanda do produto em decorrência de ser produto pouco conhecido ou pouco divulgado.

Concepção Teórica da TOC

A Teoria das Restrições (TOC), concebe algumas ideias que fundamentam e fortalecem sua base conceitual e serão resumidas a seguir:

A **Meta** corresponde ao objeto segundo o qual a empresa sustenta sua aspiração maior. **Ganhar Dinheiro**. Portanto, a Meta é a razão que justifica a existência da empresa e também seu objetivo norteador. Ou seja a meta é ganhar dinheiro, maximizando seus lucros e fortalecendo-a a ponto de guarnecer sua longevidade.

Tal desiderato está vinculado à capacidade gerencial de suplantar os obstáculos, e dentre eles, está a identificação e superação dos **gargalos**⁴. Mas para tanto se preconiza a utilização de estoques intermediários, chamados de *pulmões* para evitar interrupções da produção exatamente nesses pontos críticos do processo fabril.

Esses “*buffers*”⁵ que são tidos como verdadeiros pulmões, colocados em posições estratégicas no chão da fábrica, tem como objetivo “oxigenar” o fluxo produtivo e proteger a produção de eventuais falhas por conta dos descompassos previamente estudados.

Segundo Goldratt, os ganhos da empresa estão limitados à capacidade de fluir dos gargalos, ou seja, à real capacidade dos gargalos liberarem produtos permitindo a sequência normal da produção.

Nesse particular, os gargalos passam a ser os pontos de maior atenção e que absorverão os melhores tratamentos, pois deles dependerá o aumento da produção e dos ganhos decorrentes.

Defrontamo-nos portanto com os conceitos de gargalos, agora perfeitamente entendidos e os chamados *não gargalos* ou seja aqueles que fluem normal e com excesso de capacidade, podendo gerar excesso de produtos intermediários desnecessários e portanto elevados gastos de capital de giro.

⁴ Gargalos, na concepção de Goldratt, são pontos de estrangulamento da produção.

⁵ Inventários

Nesse caso, cabe um estudo bem dosado a ponto de dar tratamento diferenciado para gargalos e não gargalos. No ponto dos gargalos, eles são precedidos de estoques previamente elaborados, livres de defeitos, com jornada de trabalho ininterrupta, a ponto de dar maior fluidez ao processo produtivo.

Dentre as eventuais alternativas, nesse caso, é terceirizar parte do serviço ou processo a ser realizado no ponto do gargalo, de tal ordem a suprir o processo com um fluxo normal sem descompassos. Ou seja, a Teoria das Restrições, como o próprio nome sugere, confirma que a palavra fundamental em todo o trabalho de Goldratt está em suprimir ou suplantam *restrições*.

Em um estudo que trata sobre “Os Princípios da Teoria das Restrições sob a Ótica da Mensuração Econômica”, GUERREIRO⁶ analisa e detalha com propriedade os novos princípios básicos que fundamentam a técnica. Vejamos:

“1- BALANCEAR O FLUXO E NÃO A CAPACIDADE.

A teoria das restrições advoga contra o balanceamento de capacidade e a favor de um alanceamento do fluxo de produção na fábrica. Assim, a ênfase recai sobre o fluxo de materiais e não sobre a capacidade instalada dos recursos. Isto só é possível através da identificação dos gargalos do sistema, ou seja, dos recursos que vão limitar o fluxo do sistema como um todo. A abordagem tradicional preconiza o balanceamento da capacidade dos recursos e, a partir daí, tenta estabelecer um fluxo suave, se possível contínuo”.

“2- O NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DE UM RECURSO NÃO GARGALO NÃO É DETERMINADO PELO SEU PRÓPRIO POTENCIAL E SIM POR UMA OUTRA RESTRIÇÃO DO SISTEMA.

Esse princípio determina que a utilização de um recurso não gargalo seja parametrizado em função das restrições existentes no sistema, ou seja, pelos recursos internos com capacidades limitadas ou pela limitação de demanda do mercado”.

⁶ Idem, Ibidem, opus cit.

“3- A UTILIZAÇÃO E ATIVAÇÃO DE UM RECURSO NÃO SÃO SINÔNIMOS.

Esse princípio é estabelecido a partir do emprego de dois conceitos distintos: utilização e ativação. A utilização corresponde ao uso de um recurso não gargalo de acordo com a capacidade do recurso gargalo.

A ativação corresponde ao uso de um recurso não gargalo em volume superior à requerida pelo recurso gargalo. A ativação de um recurso mais do que suficiente para alimentar um recurso gargalo limitante, segundo o enfoque da Teoria das Restrições, não contribui com os objetivos da otimização. O fluxo (throughput) se mantém constante, limitado pelo recurso gargalo, gerando estoque que aumenta as despesas operacionais. Este princípio não é aplicado nas formas convencionais de programação de produção”.

“4- UMA HORA PERDIDA NO GARGALO É UMA HORA PERDIDA NO SISTEMA INTEIRO.

Qualquer tempo perdido no gargalo seja através de preparação de máquinas, da produção de unidades defeituosas, ou da fabricação de produtos não demandados pelo mercado, diminui o tempo total restrito, disponível para atender o volume throughput.

Tendo em vista que os recursos não gargalos devem trabalhar de forma balanceada com o fluxo estabelecido pelo gargalo, a diminuição de seu tempo, provoca automaticamente uma redução de seu tempo trabalhado no sistema como um todo.

Nesse contexto, um pressuposto dos sistemas convencionais de programação de produção é que existe benefício na redução do tempo de preparação (set-up) dos recursos, sem considerar se os mesmos são gargalos ou recursos não gargalos.

A teoria das restrições advoga que só existe benefício na redução dos set-ups nos recursos gargalos da produção. Assim, a programação de produção baseada nessa teoria busca manter os lotes maiores nos recursos gargalos, minimizando tempo gasto com a preparação desses recursos e aumentando assim, a capacidade do fluxo”.

“5- UMA HORA ECONOMIZADA ONDE NÃO É GARGALO É APENAS UMA ILUSÃO.

Conforme já mencionado no item anterior, é importante a economia de tempo com a preparação de máquinas nos recursos gargalos, que pode ser obtida com a diminuição da quantidade total das trocas de ferramentas (processando lotes maiores), ou com a da redução do tempo gasto por preparação (trocas mais rápidas). Tendo em vista que os recursos não gargalos deverão trabalhar de acordo com o nível do gargalo, não existe nenhum destes recursos, ou seja, essa economia simplesmente estaria elevando o montante de tempo ocioso já existente.

O raciocínio poderia ser inverso: haver conveniência em usar parte do tempo ocioso para fazer um maior número de preparação produzindo lotes menores.

Os lotes menores diminuiriam o estoque em processo e as despesas operacionais, colaborando para a fluidez da produção e aumento de fluxo.

“6- OS GARGALOS GOVERNAM O GANHO E O INVENTÁRIO.

A partir das considerações anteriores, é fácil observar que os gargalos determinam o fluxo do sistema, o throughput ou ganho, além disso, também estabelecem os níveis dos estoques, pois estes são dimensionados e localizados em pontos específicos de forma que seja possível isolar gargalos de flutuações estatísticas provocadas pelos recursos não gargalos que os alimentam.

“7- O LOTE DE TRANSFERÊNCIA NÃO PODE E MUITAS VEZES NÃO DEVE SER IGUAL AO LOTE DE PROCESSAMENTO.

O lote de processamento diz respeito ao tratamento de lote que vai ser processado completamente em determinado recurso, antes que este seja reparado para o processamento de outro item. O de transferência corresponde ao tamanho do lote que vai sendo transferido para uma próxima operação”.

“8- O LOTE DE PROCESSAMENTO DEVE SER VARIÁVEL E NÃO FIXO.

A maioria dos sistemas tradicionais assume que o tamanho de lote deve ser o mesmo para todas as operações de fabricação do produto. Isso conduz a um problema de

escolha de tamanho a ser adotado, uma vez que as características das operações individuais podem se conduzir a um cálculo diferente. No modelo em estudo, os lotes de processamento podem variar de uma operação para outra”.

“9- OS PROGRAMAS DEVEM SER ESTABELECIDOS, CONSIDERANDO TODAS AS RESTRIÇÕES SIMULTANEAMENTE.

A programação da produção, ao responder questões de o que, quanto e quando produzir, deve levar em consideração o conjunto de restrições existentes. Nesse aspecto da programação da produção, deverá ser observado o tratamento dado aos lead times, que correspondem aos tempos de ressuprimento.

Os sistemas tradicionais, inclusive o MRP II, são baseados no pressuposto de que os lead times podem ser estabelecidos em função de como a produção é programada, ou seja, eles são os resultados do processo de planejamento da produção”.

Portanto, resumidamente, as regras de programação de produção convencionais vs. as regras de programação de produção OPT, seriam as seguintes:

CONVENCIONAL	TEORIA DAS RESTRIÇÕES
Balacear a capacidade e tentar manter o fluxo	Balacear o fluxo, não a capacidade.
O nível de utilização de um trabalhador é determinado por seu próprio potencial.	O nível de utilização de um não-gargalo não é determinado por seu próprio potencial, mas por alguma restrição do sistema.
Utilização e ativação de recurso são a mesma coisa.	Ativação e utilização de recursos não são sinônimos.
Uma hora perdida em um gargalo é somente uma hora perdida daquele recurso.	Uma hora perdida em um gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro.
Uma hora economizada em um não gargalo é uma hora economizada daquele recurso.	Um hora economizada em um não gargalo é apenas uma miragem.
Os gargalos limitam temporariamente o	Os gargalos governam tanto o fluxo como

fluxo, mas têm pouco impacto sobre o inventário.	os inventários.
Deveria ser desencorajada a programação de lotes pequenos e sobrepostos.	O lote de transferência não precisa e, muitas vezes, não deve ser igual ao lote de processo.
O lote de processamento deveria ser constante no tempo e durante a rota.	O lote de processo deveria ser variável e não fixo.
Os programas deveriam ser determinados na sequência: <ul style="list-style-type: none"> • Predeterminando o tamanho dos lotes. • Atribuindo prioridades e estabelecendo programas de acordo com o lead time. • Ajustando a programação de acordo como a aparente restrição de capacidade, repetindo-se os três passos anteriores. 	A programação deveria ser estabelecida analisando-se todas as restrições simultaneamente. Os lead times são resultantes da programação e não podem ser predeterminados.

Fonte: GUERREIRO (1996, P.53)

Como vimos, após a avaliação em síntese de GUERREIRO, sobre os nove princípios básicos da Teoria das Restrições, podemos perceber a objetividade da técnica, bem como sua real possibilidade de aplicação.

De igual forma, e trabalhando ombreadas à Teoria das Restrições, é possível se valer de outras técnicas suplementares e/ou complementares que ajudem a resolver situações problema no âmbito da tomada de decisão.

Imaginamos um gerente que deva tomar, como já vimos uma decisão que pode representar o sucesso ou o fracasso de uma empreendimento, sem os recursos da boa técnica para decidir. Ele não pode em um mundo altamente competitivo adotar apenas o *feeling* como recurso decisório.

Isto posto, passa a avaliar de forma associada a Teoria das Restrições com outra poderosa técnica adotada pelos militares durante a segunda grande guerra mundial, a Programação Linear (técnica da Pesquisa Operacional - PO), pois permite avaliar os problemas de forma sistêmica priorizando utilização de recursos diante de situações de escassez. Vamos a ela.

A Programação Linear é uma das técnicas de Pesquisa Operacional, aplicável a situações de utilização otimizada de recursos diante de limitações plenas.

O aplicação da Programação Linear exige, primeiramente que sejam respondidas certas questões como, por exemplo: **o problema já foi definido e delimitado ?**

Ora, é preciso, como em qualquer coisa na vida, que você defina primeiramente seu objetivo. Em seguida você identifique as limitações que cercam o atingimento da **Meta**, a partir daí você deve delimitar o problema, definindo primeiramente qual é o problema a suplantar para se alcançar à **Meta**, e qual a real abrangência que o torne como óbice para o alcance da **Meta**.

Neste particular, as variáveis devem ser colocadas de forma a visualizarmos todas as relações a que estão sujeitas.

É importante que se diga que a Programação Linear, como uma das técnicas da Pesquisa Operacional, e na condição de elemento interdisciplinar, ajuda a resolução de problemas no âmbito empresarial, através da utilização de modelos matemáticos que analisem a situação do sistema como um todo.

O resolução do problema com base na Programação Linear sugere que sejam analisadas todas as situações alternativas, permitindo ao gestor implementar novos dados, reestruturar o modelo caso contenha imperfeições, enfim, oferece uma gama de informações susceptíveis de tratamento e avaliação, oferecendo-lhe riqueza de dados para a tomada de decisão.

O modelo matemático de um problema de otimização pode ser formulado como segue:⁷

Max. ou Min.

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &< b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &< b_2 \end{aligned} \quad (2)$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n < b_m$$

onde: $x_i \geq 0$ e $b_j \geq 0$, para $i = 1, 2, \dots, m$

- (1) é a função matemática que codifica o objetivo do problema e é denominada **função-objetivo**;
- (2) são as funções matemáticas que codificam as principais restrições identificadas.

A linguagem simbólica é traduzida a seguir:

Z : função a ser maximizada ou minimizada (geralmente ganho ou custo), respeitando o conjunto de elementos do problema ou restrições.

xi : variáveis decisórias que representam as quantidades ou recursos que se quer determinar para otimizar o resultado global;

ci : coeficientes de ganho ou custo que cada variável é capaz de gerar;

bj : quantidade disponível de cada recurso;

aij : quantidade de recursos que cada variável decisória consome.

Nesse caso é preciso avaliar se os problemas analisados apresentam comportamento linear, ou seja, se a função-objetivo e as restrições apresentam proporcionalidade com as unidades produzidas.

⁷ GARCIA, Solange; GUERREIRO, Reinaldo; CORRAR, Luis J. – “TEORIA DAS RESTRIÇÕES E PROGRAMAÇÃO LINEAR” - Trabalho a apresentado no V Congresso Internacional de Custos – 1997 – Acapulco, México.

Para o tipo de situação a ser avaliada o problema será tratado como Problema de Programação Linear (PPL)

Premissa Básica

A premissa básica é que é plenamente exequível a aplicação da Programação Linear para a resolução de problemas que evidenciem gargalos na área produtiva, nas pequenas indústrias.

Portanto, preconizamos que a **Meta** a ser perseguida é **otimizar a utilização dos recursos disponibilizados pela empresa, no sentido de aumentar seus ganhos econômico-financeiros.**

Esse objetivo decorre da necessidade de potencializar os recursos limitados de que dispõe a organização, definindo o melhor mix de produtos que devem ser produzidos.

A preocupação na essência é com o sucesso do negócio, e por decorrência com a longevidade do empreendimento. Ou seja, quanto melhor for a utilização de seus recursos disponíveis, ainda que limitados, com a aceitação do mercado no momento atual, menor será a chance do empreendimento definir.

Essa portanto é a premissa que se irá adotar. E em decorrência dela, perseguir a oportunidade de consolidar o produto e consolidar o mercado.

Caracterização do Problema

A “Química Industrial Ltda”, nome fictício que caracteriza uma empresa real, optou por fazer mudanças no seu processo produtivo tentando fazer frente à maior competição do mercado regional, e buscando otimizar os seus resultados.

O novo sistema produtivo está dividido em três partes distintas: uma linha de produção se **Sabão Líquido** (produto muito utilizado por usuários domésticos e industriais), uma outra linha que produz **Alunovo** (que é um produto para limpeza de panelas, camburões bem como outras peças metálicas – destinado a uso doméstico,

industrial e automotivo) e uma terceira linha de **Detergente** (também para uso doméstico, industrial e hospitalar).

A “Química Industrial Ltda” quer adequar a capacidade de produção entre esses três produtos, de modo a maximizar sua margem de contribuição total.

As Margens de Contribuição para os produtos são:

Produtos	Margem de Contribuição por Unidade
Sabão Líquido	R\$ 5,00
Alunovo	R\$ 6,00
Detergente	R\$ 7,00

Os produtos declinados acima, são processados por três departamentos: Fabricação, Maceração e Engarrafamento. Como veremos abaixo, a passagem dos produtos por departamento consome um determinado tempo, a saber:

Produtos	Fabricação (Horas)	Acabamento (Horas)	Engarrafamento (Horas)
Sabão Líquido	4	1	3
Alunovo	3	2	1
Detergente	2	3	2

Existem, no entanto, restrições no que tange à capacidade produtiva, a saber:

Produtos	Necessidade de Homens/Hora por 100 (cem) litros de produtos.
Fabricação	60
Maceração	40
Engarrafamento	70

Diante da situação atual, o gestor, precisa tomar sua decisão no sentido de oferecer a melhor combinação possível entre os produtos. Esse **melhor mix** deve **obrigatoriamente** representar a **melhor Margem de Contribuição Total**.

Avaliação dos Resultados

Através do Excel, adotando “FERRAMENTAS” e “SOLVER” é possibilitada a resolução de um problema de Programação Linear, de forma bastante interativa e simples, requerendo apenas definir e modelar o problema, alocando as restrições admissíveis e aguardando a resolução de seus resultados.

A parti daí, avaliar a **análise de sensibilidade**. A análise de sensibilidade, apresentada através de um relatório produzido pelo próprio Excel, sem que exija do autor qualquer conhecimento de maior profundidade do modelo matemático, permite examinar após os procedimentos de otimização, informações relevantes acerca das alternativas de resolução apresentadas.

Várias são as alternativas de análise a partir daí. Todas no entanto, consignadas no fato de que o software trabalhou com a opção escolhida na **função-objetivo: definir o melhor mix de produtos configurado pela melhor Margem de Contribuição Total**.

No presente caso, a visualização dos dados da situação apresentada, ficou assim estruturada.

Ítems	SABÃO	ALUNOVO	DETERG	TOTAL
Quantidade	0	0	0	
M.Contr.Unit.	5	6	7	
MCT	0	0	0	0
H.Fabricação	4	3	2	60
H.Maceração	1	2	3	40
H.Engarrafamento	3	1	2	70
Tot.Fabricação	0	0	0	0
Tot.Maceração	0	0	0	0
Tot.Engarrafamento	0	0	0	0

Nesse primeiro momento, é necessária apenas, a colocação dos dados de forma ordenada ao propósito que se quer alcançar.

Estabelecidos portanto esses dados, passaremos para a etapa seguinte. Chamamos a função “SOLVER”, e vamos preencher de forma pormenorizada cada uma das células de entrada de dados do programa.

Assim devemos colocar na “Janela” “Parâmetros do Solver”, no item “Definir célula de destino”, a célula que corresponde à Margem de Contribuição Total. É exatamente nela que será identificado o resultado da **função-objetivo**: a melhor Margem de Contribuição Total, depois de escolhido o melhor mix de produtos.

Ainda em “Parâmetros do Solver”, no item “Células Variáveis” você identifica o intervalo que está evidenciando a quantidade dos produtos: Sabão, Alunovo e Detergente.

A seguir, no campo próprio identifique as restrições a que estão sendo submetidos os dados do problema: a) identifique que o total de horas do Depto. De Fabricação não pode ser superior a sua capacidade máxima disponível em horas = 60; b) idem para Maceração = 40 e, c) idem, idem para Engarrafamento = 70; d) criar a restrição de presumir itens não negativos.

Isso feito, aperte o botão “Resolver”. Logo então serão impressos os Relatórios que permitem a correta análise dos resultados.

Veremos:

Microsoft Excel 9.0 Relatório de resposta
Planilha: [Química Sabão2.xls]QuimicaSabão2
Relatório criado: 08/01/02 21:52:38

Célula de destino (Máx)

Célula	Nome	Valor original	Valor final
\$E\$5	MCT TOTAL	0	120

Células ajustáveis

Célula	Nome	Valor original	Valor final
\$B\$3	Quantidade SABÃO	0	10
\$C\$3	Quantidade ALUNOVO	0	0
\$D\$3	Quantidade DETERG	0	10

Restrições

Célula	Nome	Valor da célula	Fórmula	Status	Transigência
--------	------	-----------------	---------	--------	--------------

\$E\$11 Tot.Fabricação TOTAL	60	\$E\$11<=\$E\$7 Agrupar	0
\$E\$12 Tot.Maceração TOTAL	40	\$E\$12<=\$E\$8 Agrupar	0
\$E\$13 Tot.Engarrafamento TOTAL	50	\$E\$13<=\$E\$9 Sem agrupar	20

A análise do Relatório de Resposta, demonstra que o programa trabalha com todas as alternativas viáveis de solucionar o problema através de todas as combinações admissíveis, considerando que não podem violar o conjunto de restrições.

Através das operações algébricas é verificado a cada passo se uma nova solução contribui para **maximizar a amplitude da função-objetivo**, isto é: elevar a Margem de Contribuição Total. – MCT.

O procedimento do programa se encerra, quando conclui que nenhuma nova solução pode incrementar ainda mais o resultado já alcançado na função-objetivo.

Uma das versatilidades da alternativa de decisão que é oferecida pela função “Solver” é que ela está programada para resolver problemas repetitivos que evidenciem um razoável grau de complexidade, envolvendo muitas variáveis e/ou restrições. E o que é mais importante é que ela é inteiramente “palatável” para os profissionais da gerência superior de qualquer organização.

Neste Relatório de Resultados, obtemos a solução ótima encontrada pelo algoritmo e a Margem de Contribuição Total que representa a melhor alternativa de potencializar os ganhos, melhor administrando o capital de giro disponível.

No caso em foco, as alternativas comprovadas representam a associação de produção de 10 litros de Sabão e 10 litros de Detergente.

O produto Alunovo que não apresenta vantagem alternativa de ganho sobre os demais, deve ser preterido.

Caso o mercado o adote como um produto de ponta, no atual estágio de preço e ganho individual, é preferível comprar para revender. Jamais produzi-lo sem que suplante as vantagens de ganhos dos demais produtos.

Já no quadro de restrições são conhecidas as folgas existentes de cada recurso. A coluna de Status demonstra se existe folga ou se não existe folga. No presente caso, os números revelam que há folga no Engarrafamento, mas o que importa é que a maximização na Margem de contribuição Total foi obtida. Depreende-se portanto, que pode haver folga em algum recurso, mas não é ele que dita o ritmo da produção. O que importa é que a decisão adotada maximize a função-objetivo.

Microsoft Excel 9.0 Relatório de sensibilidade
Planilha: [Química Sabão2.xls]QuimicaSabão2
Relatório criado: 08/01/02 21:52:39

Células ajustáveis

Célula Nome	Final Valor	Reduzido Custo	Objetivo Coeficiente	Permissível Acréscimo	Permissível Decréscimo
\$B\$3 Quantidade SABÃO	10	0	5	9	0
\$C\$3 Quantidade ALUNOVO	0	0	6	0	1E+30
\$D\$3 Quantidade DETERG	10	0	7	8	0

Restrições

Célula Nome	Final Valor	Sombra Preço	Restrição Lateral R.H.	Permissível Acréscimo	Permissível Decréscimo
\$E\$11 Tot.Fabricação TOTAL	60	0,8	60	28,57142857	33,33333333
\$E\$12 Tot.Maceração TOTAL	40	1,8	40	50	25
\$E\$13 Tot.Engarrafamento TOTAL	50	0	70	1E+30	20

O Relatório de Sensibilidade que visualizamos acima, demonstra os intervalos de variação de ganho com cada produto. Os ganhos se mantidos dentro desses intervalos (abertos) não proporcionam alterações nas quantidades, ainda que eventualmente alterem para mais ou para menos o ganho total. Entenda-se no entanto, que essa é a melhor alternativa encontrada pelo recurso “solver”.

No segundo quadro de restrições poderemos analisar o “Preço Sombra”, como sendo **o que deixamos de ganhar por não dispormos de mais uma unidade da variável restritiva**. Caso a variável restritiva seja alterada, a melhor alternativa para aplicar os recursos seria no setor de Maceração, posto que, deixamos de ganhar R\$ 1,80 (um real e oitenta centavos) por não dispormos de folga para incrementar a **“Restrição lateral”**.

Uma análise mais detalhada do acréscimo ou decréscimo permitido pode promover alterações nas quantidades de cada recurso sem que altere a relação do “preço sombra” (shadow price) no ganho total obtido.

Microsoft Excel 9.0 Relatório de limites
Planilha: [Química Sabão2.xls]QuimicaSabão2
Relatório criado: 08/01/02 21:52:40

Destino		
Célula	Nome	Valor
\$E\$5	MCT TOTAL	120

Ajustável			Inferior Destino		Superior Destino	
Célula	Nome	Valor	Limite	Resultado	Limite	Resultado
\$B\$3	Quantidade SABÃO	10	0	70	10	120
\$C\$3	Quantidade ALUNOVO	0	0	120	0	120
\$D\$3	Quantidade DETERG	10	0	50	10	120

No Relatório de limites, avalia-se o maior valor que a função objetivo alcançou, quando a variável básica está no seu limite (inferior ou superior).

No limite superior verificamos o maior valor que uma variável básica pode assumir enquanto todas as outras células ajustáveis são mantidas fixas e ainda satisfazem as restrições.

Conclusão

A Programação Linear atende perfeitamente às exigências norteadoras da Teoria das Restrições e plenamente aplicável à resolução de problemas do dia-a-dia da pequena empresa industrial.

No caso em exame, a **Meta** almejada qual seja a de otimizar a utilização dos recursos disponibilizados pela empresa, foi plenamente atendida.

Confirma-se portanto que, a Programação Linear, como técnica importante e exequível de suporte aos diversos gestores, sejam executivos ou empreendedores, é integralmente aplicável.

Desse modo, com comprovação que o exemplo documentou, fica assim melhor tratada a base de dados da empresa, cuja análise permite ao gestor tomar decisões que otimizem a utilização do capital em giro, bem como lhe permitam trabalhar em prol da saúde e longevidade dos seus negócios.

Referências Bibliográficas

ANADRADE, Eduardo L. – **“INTRODUÇÃO À PESQUISA OPERACIONAL: MÉTODOS E MODELOS PARA ANÁLISE DE DECISÃO”** – Rio de Janeiro – Livros Técnicos e Científicos, 1990.

CORRAR, L. João – **“MÉTODOS QUANTITATIVOS”** Caderno de Textos Convênio FIPECAFI e Conselho Federal de Contabilidade – CFC.

_____ - Anotações de aula da disciplina Métodos Quantitativos Aplicados à Contabilidade no Mestrado em Controladoria e Contabilidade da FEA-USP, site Belém do Pará.

GOLDRATT, Eliyahu M. – **“A META”** – São Paulo Editora Educator.

GUERREIRO, Reinaldo – **“A META DA EMPRESA: SEU ALCANCE SEM MISTÉRIOS”** – São Paulo, Atlas, 1996.

_____ – **“A TEORIA DAS RESTRIÇÕES E O SISTEMA DE GESTÃO ECONÔMICA: UMA PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO CONCEITUAL”**
- São Paulo – Tese de Livre Docência. FEA-USP, 1995.

IUDÍCIBUS, Sérgio de - **“ANÁLISE DE CUSTOS”** – São Paulo – Atlas, 1988.

_____ – **“OS PRINCÍPIOS DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES SOB A ÓTICA DA MENSURAÇÃO ECONÔMICA”** – Caderno de Estudos, São Paulo, FIPECAFI – Janeiro a Junho/1996.

GARCIA, Solange, GUERREIRO, Reinaldo, CORRAR, L. João – **“TEORIA DAS RESTRIÇÕES E PROGRAMÇÃO LINEAR”** – Trabalho apresentado no V Congresso Internacional de Custos – 1997 – Acapulco, México.