

# VERIFICAÇÃO DE MUDANÇAS NO SISTEMA ABC APÓS A SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE UMA CÉLULA DE MANUFATURA

**Wesley Alves da Silva**

**Mariana Rocha Galhardo**

**José Arnaldo Barra Montevechi**

## **Resumo:**

*O presente trabalho aborda o uso conjunto de duas ferramentas consideradas de apoio à tomada a decisão: simulação e otimização. No trabalho é apresentado um modelo de célula produtiva e proposta sua otimização através da simulação, verificando as mudanças incorridas nos custos de produção em uma ordem, através do sistema ABC, o qual fornece uma menor distorção na distribuição dos custos. São apresentados, ainda, os principais conceitos relacionados ao sistema de custeio ABC, simulação computacional e à otimização, bem como combinação destas duas últimas. A otimização e a simulação serão executadas utilizando-se o pacote de simulação ProModel, que inclui um software de otimização baseado em Algoritmos Evolutivos, o SimRunner. O artigo busca com o resultado verificar o real potencial para redução dos custos que a otimização da célula é capaz de oferecer.*

## **Palavras-chave:**

**Área temática:** *Novas Tendências Aplicadas na Gestão de Custos*

## **VERIFICAÇÃO DE MUDANÇAS NO SISTEMA ABC APÓS A SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE UMA CÉLULA DE MANUFATURA**

### **Resumo.**

**Wesley Alves da Silva**  
Universidade Federal de Itajubá  
wesleyasilva@yahoo.com.br

**Mariana Rocha Galhardo**  
Universidade Federal de Itajubá

**José Arnaldo Barra Montevechi**  
Universidade Federal de Itajubá

*O presente trabalho aborda o uso conjunto de duas ferramentas consideradas de apoio à tomada a decisão: simulação e otimização. No trabalho é apresentado um modelo de célula produtiva e proposta sua otimização através da simulação, verificando as mudanças incorridas nos custos de produção em uma ordem, através do sistema ABC, o qual fornece uma menor distorção na distribuição dos custos. São apresentados, ainda, os principais conceitos relacionados ao sistema de custeio ABC, simulação computacional e à otimização, bem como combinação destas duas últimas. A otimização e a simulação serão executadas utilizando-se o pacote de simulação ProModel, que inclui um software de otimização baseado em Algoritmos Evolutivos, o SimRunner. O artigo busca como resultado verificar o real potencial para redução dos custos que a otimização da célula é capaz de oferecer.*

Área temática: Novas Tendências Aplicadas na Gestão de Custos

## VERIFICAÇÃO DE MUDANÇAS NO SISTEMA ABC APÓS A SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE UMA CÉLULA DE MANUFATURA

### 1. Introdução

As constantes evoluções nos processos produtivos têm procurado atender, em grande parte às necessidades dos clientes. De modo a se adequar ao atual mercado altamente competitivo, as empresas necessitam de respostas rápidas, fazendo uso de técnicas de tomada de decisão que pondere todos os fatores críticos, a fim de que a decisão tomada seja a melhor possível. Neste contexto a simulação computacional e os algoritmos de otimização se mostram técnicas eficazes na tomada de decisão e na busca de menores custos de produção.

Segundo Pereira (2000), simulação computacional é a representação de um sistema real através de um modelo utilizando o computador, trazendo a vantagem de se poder visualizar este sistema, implementar mudanças e responder a questões do tipo: “o que aconteceria se” (*what-if*), minimizando gastos e tempo. A utilização conjunta da simulação e de métodos de otimização é recente, sendo mais difundida com a vinculação por parte dos fornecedores de pacotes de simulação de softwares de otimização. Segundo Fu (2002), esse uso conjunto se mostra bastante eficaz, cujo uso em empresas vem crescendo nos últimos anos.

De modo a verificar os resultados de alterações em sistemas produtivos ou mesmo implantação de novos sistemas, os tomadores de decisão avaliam quesitos como produtividade, flexibilidade e principalmente custo. Desta maneira o ABC vem facilitar o custeio de sistemas produtivos mais complexos, comuns atualmente, fornecendo uma maior precisão à distribuição de custos indiretos de fabricação aos produtos (MARTINS, 2001).

O presente trabalho busca verificar as mudanças ocorridas no custeio de produtos após a realização de um estudo de otimização em uma célula de produção, utilizando o sistema de custeio ABC, que pode ser mais preciso que outros sistemas de custeio tradicionais (OLIVEIRA, 2003). A otimização será feita através da simulação de elementos discretos, utilizando o pacote de simulação ProModel, apresentando conceitos e métodos utilizado na otimização e simulação. Ao final do trabalho poder-se-á verificar se o uso combinado da simulação e da otimização pode trazer resultados significativos para a empresa.

### 2. ABC (*Activity Based Costing*)

Por várias décadas se utilizou técnicas tradicionais de alocação de custos, porém, a aplicação de tais técnicas atualmente pode resultar em informações distorcidas a respeito do custo de fabricação de um produto (GUNASEKARAN e SARHADI, 1998). No sistema tradicional, os custos são alocados proporcionalmente ao consumo de matéria prima, tempo de fabricação ou outra taxa de rateio arbitrária.

No atual ambiente competitivo a tecnologia se mostra cada vez mais presente nos ambientes produtivos, o que tem levado as organizações a investirem cada vez mais em *Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)* e sistemas produtivos mais modernos, causando um sensível aumento dos custos indiretos de produção sobre os custos totais (MARTINS, 2001). Com isso, a utilização de técnicas tradicionais de alocação

de custos não se mostra de grande confiabilidade devido às distorções que podem causar. Em virtude dos avanços tecnológicos e crescente complexidade dos sistemas de produção, Robert S. Kaplan e Robin Cooper, da *Harvard Business School*, introduziram na década de 1980 o Custeio Baseado em Atividades (ABC - Activity Based Costing), que buscava a minimização das distorções provocadas pelo rateio arbitrário dos custos indiretos de fabricação.

A Figura 1 representa a estrutura de um sistema onde foi implantado o ABC, nele pode-se definir  $GR_i$  como o grupo de recursos  $i$  do conjunto de recursos do sistema. Um recurso  $j$ , do grupo de recursos  $i$ , é representado por  $R_{ij}$ . O direcionador de recursos, do grupo de recursos  $i$ , é representado por  $DR_i$ . As atividades são agrupadas formando o grupo de atividades  $i$ , denominado  $GA_i$ . Uma atividade qualquer  $j$  do grupo de atividades  $i$  é representada por  $A_{ij}$ . O direcionador de atividades do grupo de atividades  $i$  é denominado  $DA_i$ . Finalmente, o objeto de custo  $j$  é representado por  $O_j$  (PAMPLONA, 1997).

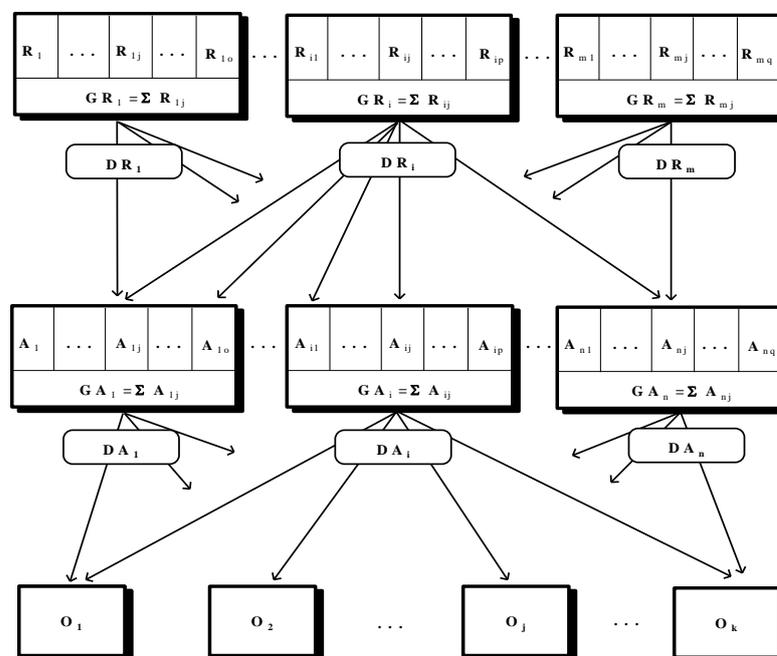


Figura 1 – Estrutura geral de um sistema ABC (PAMPLONA, 1997).

A dinâmica do sistema ABC consiste em verificar a relação causal entre o grupo de recursos (GR) e o grupo de atividades (GA), através de direcionadores de recursos (DR) e expressar o consumo destas atividades pelo objeto de custos (O), através da utilização dos direcionadores de atividades (DA). Portanto, a precisão do custo do produto depende da definição dos direcionadores, responsáveis por alocar o custo às atividades (primeiro estágio) e das atividades para os produtos que consomem estas atividades (segundo estágio) (LEA e FREDENDALL, 2002).

Para Martins (2001), os direcionadores de recursos, responsáveis por alocar os custos às atividades, respondem a pergunta: “como é que as atividades se utilizam deste recurso?”. Por exemplo, a questão “como a atividade *comprar materiais* consome o recurso *materiais de escritório*?” pode ser respondida através das requisições feitas ao almoxarifado; assim, as requisições de material identificam as quantidades utilizadas do recurso (material de escritório) para realizar aquela

atividade (comprar materiais). O direcionador de recurso neste caso é a quantidade de material necessária.

Segundo o mesmo autor, os direcionadores de atividades identificam a maneira como os produtos “consomem” as atividades, indicando a relação entre as atividades e os produtos. Um exemplo é: “como os produtos consomem a atividade *comprar materiais?*”; no caso o número de pedidos e cotações emitidas para compra de um produto em relação ao número total indica a relação da atividade com o produto. Assim o direcionador desta atividade (comprar matérias) é o número de pedidos e cotações emitidas.

Para Kaplan e Cooper (2000), o objetivo de um sistema ABC, corretamente desenvolvido, é ser um sistema de custeio preciso. Porém, esta precisão depende do nível de detalhamento das atividades de produção. Um sistema ABC com maior precisão, poderia ser criado com a definição de mil ou mais atividades, mas o custo de operação desse sistema excederia os benefícios em termos de tomadas de decisões mais eficazes com base em informações um pouco precisas. Assim, para o desenvolvimento de um bom sistema ABC é preciso que haja um equilíbrio entre a precisão requerida e a complexidade/custo de operação.

Segundo Martins (2001), o ABC é mais que uma ferramenta de custeio de produtos, este sistema é na realidade a espinha dorsal da Gestão Baseada em Custos (ABM - *Activity Based Management*). A ABM é vista como um sistema avançado na gestão de custos, que surgiu decorrente da necessidade dos gerentes em obter respostas para tomada de decisões em um ambiente afetado por novas tecnologias com forte inclinação aos sistemas de gestão, tais como: *Total Quality Management (TQM)* e *Just in Time (JIT)* (OLIVEIRA, 2003). Segundo Biaggio *et al.* (1999), a ABM pode ser definida como um novo paradigma para a gestão de custos, que possui como objetivo melhorar a atividade de redução de custos e ajudar a empresa a obter ganhos de produtividade. Portanto, pode-se dizer que a ABM é um método de gerenciamento que questiona as atividades existentes e avalia a eficiência de como estas devem ser conduzidas de modo a atingir quatro objetivos: reduzir custos, diminuir *lead time* de produção, melhorar a qualidade e agregar valor ao cliente, em termos de serviço e flexibilidade.

Com a introdução dos conceitos de ABM a área de custo, que até então era tida como uma caixa preta, passa a ser de fácil entendimento não somente para os contadores como para os operadores das atividades.

### 3. Simulação e Otimização

Um sistema é um conjunto de elementos que estão inter-relacionados ou em interação (ISO, 2000). A maioria dos sistemas reais não pode ser representada através de métodos matemáticos clássicos, devido a sua grande complexidade, como é o caso de um sistema de manufatura, em que se tem um grande número de entidades. Assim, a simulação nasceu da busca por soluções para esses problemas de maior dificuldade, tendo um grande avanço com o advento dos computadores e suas linguagens de programação.

Conforme Protil (2001), um sistema pode ser descrita como uma relação *input-output*, e conforme mostrado na Figura 2, onde *X* é o *input*, *Y* o *output* e *M* é uma representação a qual correlaciona as informações de entrada e saída. Formalmente o sistema *S* pode ser descrito através da função  $S = (X, Y, M)$ .

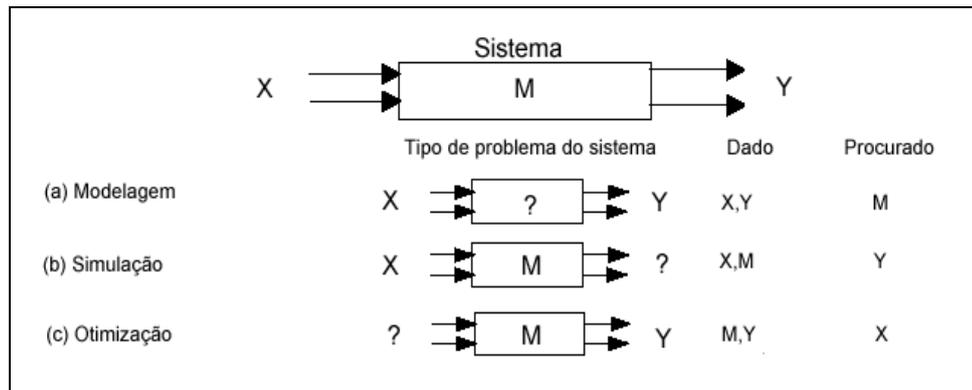


Figura 2 - Questionamentos na modelagem, simulação e otimização (Adaptado de Protil, 2001).

Segundo o mesmo autor, a partir do sistema principal podem-se definir três subsistemas com questionamentos diferentes (Figura 2). Assim, o primeiro (modelagem) busca as inter-relações existentes entre os dados de entrada e de saída de um determinado sistema, buscando uma representação que possa reproduzir seu comportamento; o segundo (simulação) busca respostas do tipo “*what if*”, manipulando as entradas de um modelo e verificando sua saída; finalmente no terceiro (otimização) deseja-se obter um *output* ótimo, previamente definido, alterando a composição dos *inputs*.

Um modelo, segundo Hillier (1988), é uma representação de um sistema real, na qual somente os aspectos relevantes para a análise em questão serão considerados. Durante a construção de um modelo (modelagem), é criada uma interatividade que traz vantagens como: facilidade na modificação do modelo, rapidez na obtenção de resultados e a possibilidade de se verificar, através da animação, como o processo está sendo conduzido (PEREIRA, 2000).

Segundo Law e Kelton (1982), simulação é a imitação de um sistema real modelado em computador para avaliação e melhoria da sua performance. Ou seja, simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado onde se pode estudar o comportamento do mesmo, sob diversas condições sem os riscos físicos e/ou grandes custos envolvidos.

Existem alguns passos para se chegar a uma simulação bem sucedida. Os requerimentos de cada passo variam de acordo com o projeto, porém os procedimentos básicos são essencialmente os mesmos, e sua principal função é garantir que o projeto seja conduzido de forma organizada, com um mínimo de desperdício de recursos, maximizando a eficiência na obtenção de resultados. Esse procedimento básico é mostrado a seguir: (PROMODEL, 1997):

- 1º. Plano de estudo: consiste em definir objetivos, estabelecendo: restrições (de tempo e custo) e especificações da simulação, ou seja, nível de detalhamento;
- 2º. Definindo o sistema: consiste na identificação do modelo conceitual no qual a simulação será baseada. Nesse passo há a necessidade da tomada de dados em fontes confiáveis, conversão apropriada desses dados, bem como sua documentação e aprovação;
- 3º. Construindo o modelo: construção do modelo representando o sistema definido, refinando os dados e verificando a validação do modelo;

- 4º. Condução do experimento: baseado no resultado da simulação o modelador tem uma resposta sobre a validade de suas hipóteses. Pelo fato das entradas definidas no modelo serem variáveis independentes, elas podem ser manipuladas. O efeito dessa manipulação é então medido e correlacionado;
- 5º. Análise dos resultados: o maior benefício da simulação é dar idéia de “o que aconteceria se”, mas não dá necessariamente a resposta correta, e por isso deve-se ter cuidado ao usar os resultados da simulação;
- 6º. Reportando os resultados: o último passo é dar recomendações para melhoria no sistema atual, baseado nos resultados da simulação. Tais resultados devem ser claramente apresentados para a tomada da decisão final.

Para Shannon (1975), a simulação não é uma teoria, mas uma metodologia de resolução de problemas, que faz uso da modelagem para implementar e analisar um procedimento real (físico), proposto em um computador ou em protótipos, portanto, simulação é o ato de imitar um procedimento real em menor tempo e com menor custo, permitindo um estudo detalhado de acontecimentos passados, presentes e futuros.

Já a otimização, segundo Harrel *et al.* (2000), é o processo de tentar diferentes combinações de valores para variáveis que podem ser controladas (variáveis independentes), buscando uma combinação de valores que provê a saída mais desejada de um modelo de simulação.

Embora houvesse pesquisas para a combinação de simulação e otimização, apenas a partir da última década foram desenvolvidos softwares que executam a otimização a partir da simulação, entre eles pode-se citar o AutoStat, o OptQuest, o OPTIMIZ, o SimRunner, e o WITNESS Optimizer, que já estão incorporados a alguns pacotes comerciais de simulação, tal incorporação fez aumentar seu uso (FU, 2002).

Segundo Fu (2002), na interação entre simulação e otimização, a ultima deve ser vista como uma ferramenta complementar à simulação. A otimização fornece as variáveis de uma possível solução à simulação, e esta fornece respostas para as variáveis propostas. Este ciclo, representado na Figura 3, é repetido até sua parada que é definida de acordo com método de otimização (pequena variação entre as ultimas respostas, número de simulações e tempo).

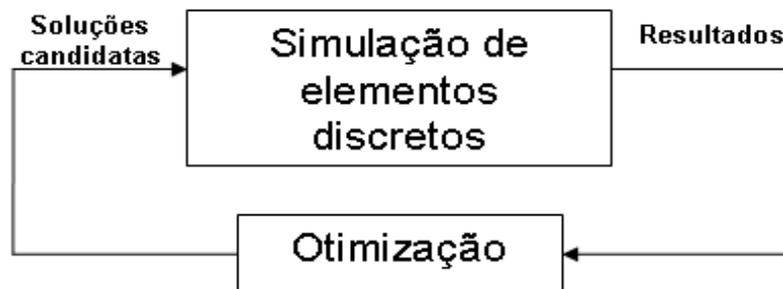


Figura 3 – Otimização e simulação (Adaptado de Fu, 2002).

De acordo com Harrel *et al.* (2000), existem diversos métodos de otimização de modelos de simulação, como Newton-Rapson e a Programação Linear. Porém, a maioria dos problemas reais apresenta uma alta complexidade, assim, uma possível solução para problemas desse tipo é a aplicação das técnicas heurísticas de otimização.

Técnicas heurísticas são técnicas que proporcionam soluções boas, bem próximas da solução ótima. Contudo não se assegura que as soluções encontradas sejam ótimas. Os softwares de otimização usado na maioria dos pacotes de simulação se baseiam em Algoritmos Genéticos, um tipo específico de Algoritmo Evolutivo.

Algoritmos Evolutivos (AEs) são algoritmos heurísticos que, imitando o processo de evolução natural das espécies, manipula uma população de possíveis soluções de tal modo que as piores soluções desaparecem enquanto que as melhores continuam a evoluir em busca de uma solução ótima, explorando, simultaneamente, diversas áreas do espaço de busca, tentando minimizar ou maximizar o valor, conforme o objetivo do problema (TANOMARU, 1995).

Os Algoritmos Genéticos (AGs) necessitam somente de informação sobre o resultado da função objetivo para cada membro da população para sua aplicação, ou seja, não necessitam de uma função matematicamente explícita, tornando o algoritmo bastante aplicável na otimização de modelos de simulação, já que estes não apresentam funções matemáticas explícitas.

Nos AEs, os indivíduos são representados por um alfabeto, o que de uma forma metafórica corresponde à codificação genética deste indivíduo. Nos AGs essa representação é usualmente feita através do alfabeto binário. A representação dos indivíduos juntamente com os “operadores genéticos” (citados mais adiante) são os fatores que diferenciam os AGs dos outros AEs (Programação Evolutiva e Estratégia Evolutiva).

A adaptabilidade, ou probabilidade de sobrevivência de cada indivíduo em uma dada população, é definida através de uma função de aptidão (em inglês, *fitness*). Muitas vezes esta função é a própria função objetivo, porém em alguns casos esta função necessita ser alterada para melhor representar a adaptabilidade da população.

A evolução das populações é feita através dos “operadores genéticos”. Os “operadores genéticos” utilizados pelo AGs são:

- Seleção: oferece aos melhores indivíduos da população preferência para o processo de reprodução, permitindo que estes indivíduos passem suas características às próximas gerações. Entre os métodos de seleção encontra-se o método da Roleta, a Amostragem Universal Estocástica, Seleção Elitista, Seleção Baseada na Posição, Seleção por Torneio, Seleção Estado Estável, Seleção por Truncatura e Seleção local (SIMÕES, 1999), sendo o método de Roleta o mais utilizado;
- Cruzamento: ou *crossover*, cria novos indivíduos através da combinação de dois ou mais indivíduos. A idéia intuitiva por trás deste operador é a troca de informação entre diferentes soluções candidatas;
- Mutação: altera aleatoriamente a característica de um indivíduo, através da mudança do valor de um gene. Esta alteração garante que a probabilidade de chegar a qualquer ponto da superfície de resposta nunca seja zero, além de contornar o problema de ótimos locais (IZIDORO, 2001).

Segundo Cunha e Pinto (2001), não existe um parâmetro ótimo para os “operadores genéticos”, os parâmetros ótimos são específicos para cada problema e cada esquema de codificação, não podendo ser adotados de forma genéricas, uma vez que sua seleção incorreta compromete o desempenho global do algoritmo. Outro parâmetro importante a ser considerado é o critério de parada, que depende do problema e do esforço computacional exigido, podendo ser o número máximo de

gerações em que a evolução deve ocorrer ou um valor mínimo para o desvio padrão do valor de aptidão dos indivíduos nas últimas gerações.

#### **4. Aplicação**

O estudo em questão foi realizado numa empresa do ramo de autopeças, que fabrica anéis de pistão para motores de combustão interna. A organização da planta está baseada no conceito de mini fábricas, onde cada uma possui um gestor responsável pelos custos, qualidade, manutenção, processo e programação da sua área.

A estrutura funcional utilizada pela fábrica é a estrutura celular de produção, sendo que a célula estudada foi a *Célula XV* (Figura 4). Essa escolha se deu porque a célula é considerada de fase única, ou seja, o anel entra bruto e sai acabado, necessitando apenas das operações de inspeção, pintura e embalagem, que não serão analisadas neste estudo.

A *Célula XV* conta com oito trabalhadores (sendo sete operadores e um mecânico) por turno e treze máquinas, cada máquina pode processar o produto em pacotes ou individualmente, fazendo operações de usinagem em uma família de anéis de ferro fundido cinzento ou nodular. Nela, os produtos a serem processados chegam em lotes (cujo tamanho varia de acordo com o anel produzido) e ficam armazenados nos volantes móveis; a seguir um operador monta o pacote de produtos e os processa em dois tornos de forma vertical. Após as transformações ocorridas, as peças são enviadas para a gravação, operação feita em duas gravadoras, onde um operador é responsável pelas duas máquinas e o transporte das peças para o volante fixo. Dois operadores são responsáveis pela retirada das peças do carrossel e montagem de um conjunto de peças (árvores), que são processadas em dois tornos acabados, sendo que cada operador é responsável por uma máquina. Depois de usinadas as peças são enviadas para as operações de rebaixo e chanfro, sendo feita em duas máquinas por um operador. Após sofrerem este processo as peças são enviadas para a topejadora e em seguida para o escovamento, sendo um operador responsável pelos dois últimos processos. Para 70% das peças, o processo produtivo encerra-se nesse ponto, os outros 30% passam pelo processo de bombeamento, composto por três máquinas.

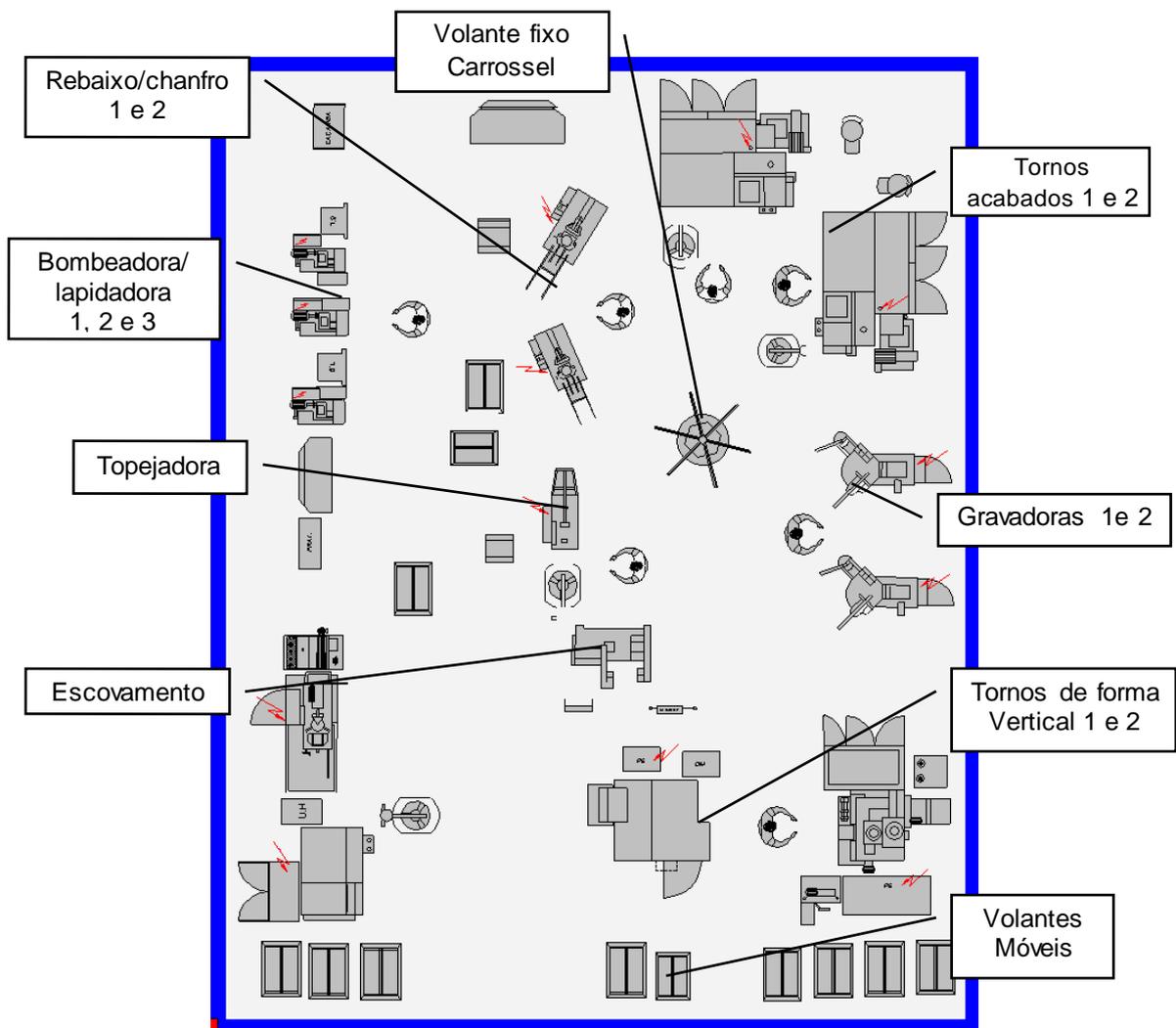


Figura 4 - Célula de manufatura xv.

O objetivo do estudo é a minimização do custo total de produção das ordens dada na Tabela 1, a serem executadas em um período de 42 dias.

Produto	Quantidade
AN 15617	134700
AN 18446	2880
AN 19858	24650
AN 20680	54030
AN 20859	12750
AN 21137	26970
AN 21139	11100
AN 22505	6325
AN 18388 0950	9210
AN 18388 4910	10540

Tabela 1- Ordem de produção

Na definição do custo dos processos e atividades da *Célula XV*, foram analisados os livros contábeis da empresa, além de apontamentos de controle da mão de obra e controle de materiais que entram na *Célula XV*.

Para o planejamento de um sistema ABC, conforme Colmanetti (2001), a equipe responsável deve refletir se é necessário reestruturar todo o sistema de custeio ou aproveitar a característica do sistema atual. Na empresa estudada os custos são alocados aos departamentos e centros de atividades, o que facilita a implantação do sistema ABC. A Tabela 2 contém os recursos consumidos pela *Célula XV*, composta somente por custos indiretos de fabricação. Para efeito de sigilo todos os custos foram multiplicados por uma constante.

Recursos	Custo
Mão de obra	R\$ 23298,03
Depreciação	R\$ 5716,00
Manutenção	R\$ 12619,00
Energia elétrica	R\$ 617,59
Administração	R\$ 133,49
Mat. Consumo	R\$ 696,73
<b>Total</b>	<b>R\$ 43080,84</b>

Tabela 2 – Grupo de recursos consumidos pela célula durante o período em questão.

Com os recursos da célula determinados, pode-se proceder à análise preliminar para determinar os direcionadores de recursos, de modo a rastrear os custos indiretos às atividades. A escolha dos direcionadores de recursos se dará através da análise de cada um deles:

- Mão de obra: este grupo de recursos contém os salários e encargos dos operadores. Para a alocação da mão de obra às atividades há duas possibilidades: a primeira é a alocação com base no número de operadores, conforme sugere Martins (2001); outra opção é a alocação com base no número de horas gastas para desempenhar cada atividade, obtido diretamente do apontamento de produção;
- Manutenção: os custos com a manutenção dos equipamentos podem ser diretamente atribuídos às atividades, a partir do número de requisições feitas para a manutenção em cada equipamento. Estes dados podem ser obtidos nos apontamentos de paradas da célula para manutenção corretiva ou preventiva;
- Energia: a energia elétrica utilizada na célula é totalmente consumida pelas máquinas responsáveis pelo processamento das peças. Deste modo, conforme sugerem Kaplan e Cooper (2000), o custo com energia é alocada de acordo com o número de horas em que o equipamento de cada atividade ficou em operação; e sua respectiva potência;
- Materiais e insumos: este grupo pode ser alocado utilizando-se como direcionador as requisições feitas de cada material ou insumo pelas atividades;
- Administrativo: este grupo inclui despesas como salário do pessoal de supervisão, mão de obra auxiliar da produção, aluguel e seguro contra incêndio. Os possíveis direcionadores para este recurso são: a área necessária para desenvolver cada atividade ou o número de horas consumidas por atividade.

- Depreciação: a depreciação refere-se à perda do valor do imobilizado ao longo do tempo. Deste modo o direcionador para este grupo é uma função do valor investido e da taxa de depreciação anual do equipamento utilizado para realizar a atividade, levando em consideração a legislação vigente.

A Tabela 3 apresenta os direcionadores de recursos definidos, após a análise do grupo de recursos.

<b>Recursos</b>	<b>Direcionadores de recursos</b>
Manutenção	Número de requisições para manutenção
Depreciação	Alocação direta aos equipamentos
Geral Administrativo	Horas trabalhadas
Materiais e Insumos	Número de requisições de materiais
Energia	Horas de utilização das máquinas
Mão de obra direta	Horas de mão de obra

Tabela 3 – Recursos e direcionadores de recursos.

Aplicando os direcionadores de recursos descritos às atividades, já definida anteriormente através de mapeamento de processo, têm-se os custos destas atividades, apresentadas na Tabela 4.

<b>Atividades</b>	<b>Custo</b>
Transportar	R\$ 2.336,66
Montagem de árvore/pacote de peças	R\$ 1.639,76
Desengraxar pacote de peças	R\$ 2.012,08
Inspecionar e preencher Histograma	R\$ 1.049,65
Torno de forma vertical	R\$ 10.293,31
Gravadora	R\$ 4.426,14
Torno Acabado	R\$ 6.956,77
Rebaixo/chanfro	R\$ 3.122,65
Topejamento	R\$ 3.707,97
Escovamento	R\$ 3.195,38
Bombeamento/lapidação	R\$ 4.340,47
<b>Total</b>	<b>R\$ 43.080,84</b>

Tabela 4 – Custo das atividades no período

A etapa seguinte consiste em definir os direcionadores de atividades, para alocar os custos das atividades aos produtos. O direcionador escolhido foi a quantidade de horas gastas para a fabricação dos produtos, por cada atividade. Os dados a respeito do tempo consumido pelas peças em cada atividade, foram obtidos através de pesquisas no setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP). A Tabela 5 mostra os resultados da alocação dos custos indiretos de fabricação (C.I.F.) das atividades aos produtos bem como o custo unitário de cada tipo de peça. Para o cálculo do custo total das peças deve-se adicionar seu custo direto de fabricação (C.D.F.), neste caso representado somente pelo custo das matérias primas. A partir do preço de venda foram calculados ainda o lucro unitário e a margem de lucro. Nota-se a existência de um tipo de peça com margem de lucro negativa, tolerada devido a contrato.

Produto	C.I.F.	C.I.F. unit.	C.D.F.	Custo total	Pr. Venda	Margem (%)
AN 15617	14204,34	0,11	0,18	0,29	0,35	22,61
AN 18446	629,44	0,22	0,18	0,40	0,51	27,96
AN 19858	3583,45	0,15	0,27	0,42	0,40	-3,7
AN 20680	4518,78	0,08	0,26	0,34	0,70	103,7
AN 20859	3858,45	0,30	0,26	0,56	0,70	24,42
AN 21137	7607,89	0,28	0,54	0,82	1,50	82,46
AN 21139	4190,42	0,38	0,54	0,92	1,50	63,49
AN 22505	1173,55	0,19	0,32	0,51	0,70	38,47
AN 18388 0950	2144,02	0,23	0,18	0,41	0,51	23,55
AN 18388 4910	1170,50	0,11	0,18	0,29	0,51	75,23

Tabela 5 – Custo total e margem de lucro dos produtos fabricados no período.

O próximo passo do estudo é a construção de um modelo para simulação da *Célula XV*. Para tal, foi utilizado um modelo da mesma célula construído e validado por Oliveira (2003), fazendo uso do software de simulação computacional ProModel. A Tabela 6 apresenta os C.I.F. encontrados através da simulação e faz uma comparação entre estes custos e os encontrados através de cálculos, obtendo uma variação total de menos de 4%, o que mais uma vez valida o modelo.

Produto	C.F.I.	C.I.F. simulação	Variação (%)
AN 15617	14204,34	14536,72	2,34
AN 18446	629,44	620,30	-1,45
AN 19858	3583,45	3640,43	1,59
AN 20680	4518,78	4432,92	-1,9
AN 20859	3858,45	4010,86	3,95
AN 21137	7607,89	7995,89	5,1
AN 21139	4190,42	4327,45	3,27
AN 22505	1173,55	1116,28	-4,88
AN 18388 0950	2144,02	2068,98	-3,5
AN 18388 4910	1170,50	1163,59	-0,59
<b>Total</b>	<b>43080,84</b>	<b>43913,42</b>	<b>3,93</b>

Tabela 6 – Comparação entre os custos calculados e obtidos pela simulação.

Através da simulação pode-se obter informações como: o percentual de tempo em que cada máquina ficou em operação (Operation), em preparação (Setup), inativa (Idle), bloqueada (Blocked), fora de operação (Down), apresentadas na Figura 5, e o percentual de tempo em que cada operador esteve trabalhando na produção, Figura 6. Pode-se verificar um grande percentual de tempo de inatividade tanto para as máquinas quanto para os operadores.

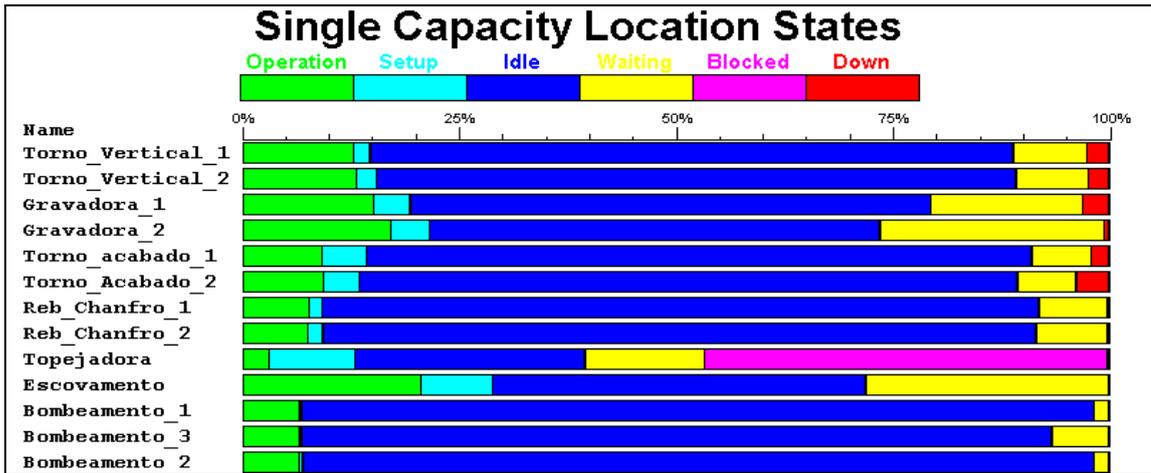


Figura 5 - Taxa de utilização das máquinas na célula original.

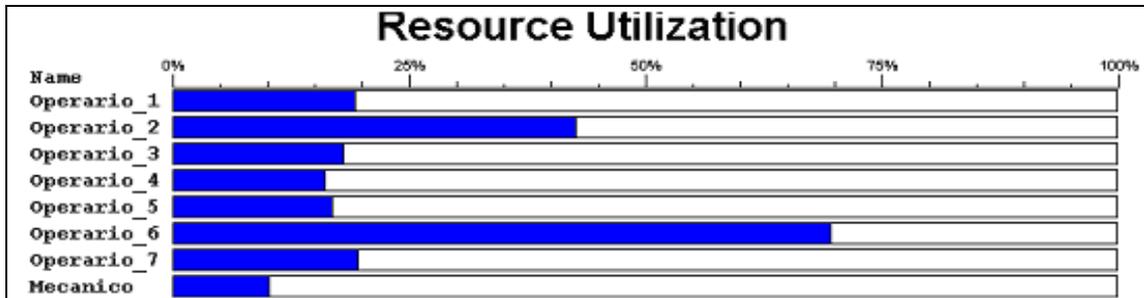


Figura 6 - Taxa de utilização dos operadores na célula original.

Após a determinação dos custos da célula original, foi feita a otimização do modelo tendo como objetivo a minimização dos custos indiretos de fabricação. O software utilizado para a otimização foi o SimRunner (incorporado ao pacote ProModel), cujo principal algoritmo de otimização é o Algoritmo Genético. Para a realização da otimização são necessários:

- Modelo validado, elaborado no ProModel;
- Variáveis a serem determinadas (variáveis de decisão ou *input*). Neste caso as variáveis foram: número de operadores responsável pelos tornos acabados (1 ou 2), número de tornos verticais (1 ou 2), gravadoras (1 ou 2), tornos acabados (1 ou 2), rebaixo/chanfro (1 ou 2) e número de bombeadoras (1, 2 ou 3);
- O objetivo a ser alcançado com a otimização (Função Objetivo ou *output*). Neste estudo a função objetivo foi definida como o mínimo custo indireto de produção;
- Escolha dos parâmetros a serem utilizados para a otimização. Esses parâmetros são selecionados de acordo com a confiabilidade (95%) e a validade desejadas para as respostas da otimização (3 replicações).

A otimização foi executada, e após 41 experimentos o software encontrou o seguinte resultado como sendo o melhor: 1 operador, 1 torno vertical, 2 gravadoras, 2 tornos acabados, 1 reb/chan e 2 bombeadoras. Após a execução da otimização repetiu-se a simulação, agora com os valores encontrados na otimização (número de máquinas e operadores), de modo a fazer uma análise entre os resultados antes e após a otimização.

Uma grande vantagem da utilização da simulação usando o ProModel é que ele permite que se obtenha um relatório dos custos através do sistema ABC. Os C.I.F.

obtidos com o uso da simulação estão apresentados na Tabela 7, bem como o C.I.F. unitário. Adicionado o C.D.F. tem-se o custo total de fabricação de cada peça, que comparado com o preço de venda é possível determinar a margem de lucro.

Produto	C.I.F.	C.I.F. unit.	C.D.F.	Custo total	Pr. Venda	Margem (%)
AN 15617	12408,00	0,09	0,18	0,27	0,35	28,62
AN 18446	389,54	0,14	0,18	0,32	0,51	61,77
AN 19858	2927,25	0,12	0,27	0,39	0,40	2,89
AN 20680	4030,80	0,07	0,26	0,33	0,70	109,2
AN 20859	3240,58	0,25	0,26	0,51	0,70	36,14
AN 21137	6470,76	0,24	0,54	0,78	1,50	92,33
AN 21139	3465,18	0,31	0,54	0,85	1,50	76,02
AN 22505	930,60	0,15	0,32	0,47	0,70	49,85
AN 18388 0950	1821,84	0,20	0,18	0,38	0,51	34,99
AN 18388 4910	909,57	0,09	0,18	0,27	0,51	91,52

Tabela 7 - Custo total e margem de lucro dos produtos fabricados no período para o modelo otimizado.

Comparando as Figuras 5 e 7, pode-se verificar um sensível aumento no percentual de uso nas máquinas racionalizadas (torno de forma vertical, rebaixo/chanfro, e bombeamento). Já comparando as Figuras 6 e 8, pode-se verificar um aumento no percentual de tempo em operação do operador 3, uma vez que este operador agora acumula o trabalho dos operadores 3 e 4 na configuração anterior.

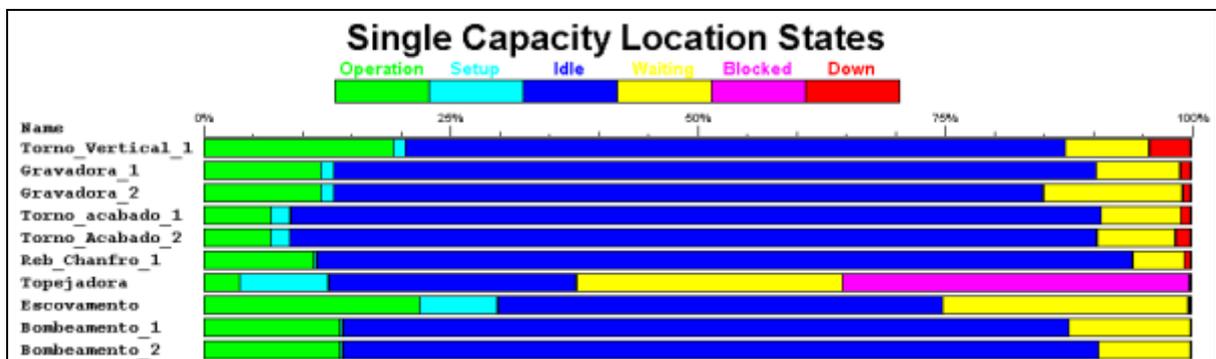


Figura 7 - Taxa de utilização das máquinas na célula otimizada.

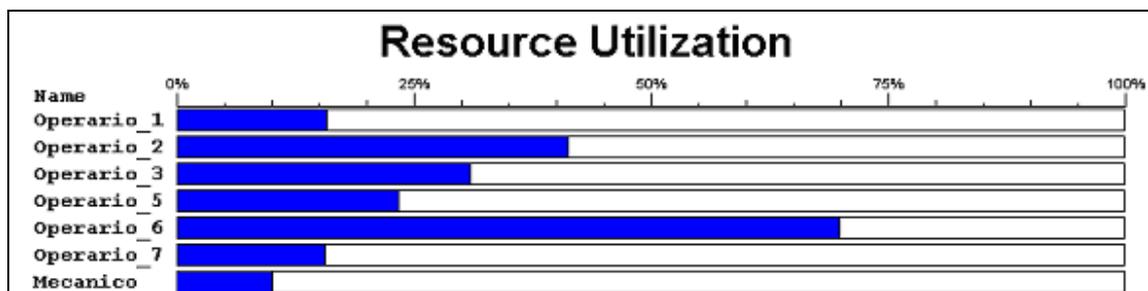


Figura 8 - Taxa de utilização dos operadores na célula otimizada.

O Gráfico 1, mostra uma comparação feita entre as margens de lucro da célula original e do modelo proposto pela otimização. Nele pode-se notar um sensível aumento nas margens de lucro de todos os tipos de anéis, sendo mais acentuado no anel AN 18448; nota-se ainda que a margem do anel AN 19858, que antes era negativa por forças de contrato, passa a ser positiva no modelo otimizado.

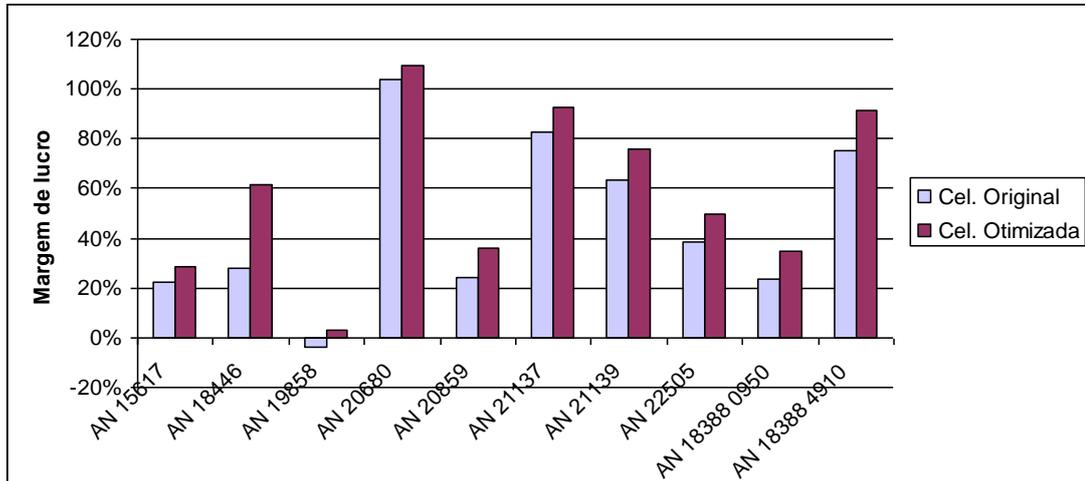


Gráfico 1 – Comparação entre a margem de lucro entre a célula original e a célula após a otimização.

## 5. Conclusão

Fazendo uso de ferramentas consagradas e de eficácia comprovada (sistema de custeio ABC, otimização e simulação), pôde-se encontrar, de maneira científica, a combinação de operadores e equipamentos para o problema proposto com o menor custo possível, e que atendesse a demanda solicitada no mesmo intervalo de tempo. A análise inicial dos resultados da simulação da célula original, verifica um excesso de capacidade de mão de obra e de maquinário instalado, porém, encontrar o resultado ótimo de uma maneira empírica tomaria mais tempo, incidindo gastos ainda maiores.

A utilização do sistema ABC permitiu o cálculo do custo dos produtos com menor distorções, e a análise comparativa precisa entre os modelos, tanto antes quanto depois da otimização.

A redução do custo da produção das peças obtido através da otimização do modelo da célula original foi de 15,06% (de R\$ 43.080,84 para R\$ 36.594,12) causada pela redução de um operário e três máquinas (um torno de forma vertical, um equipamento de rebaixo/chanfro e um de bombeamento). Analisando os custos unitários encontrados através do sistema ABC para ambos os modelos, foi possível verificar um aumento na margem de lucro para todos os tipos de peças no modelo otimizado.

A combinação da simulação com a otimização mostrou-se uma técnica bastante eficaz, e propõe-se sua maior utilização em análises de mudanças, ou mesmo investimentos em novas unidades/células de fabricação, a fim de se determinar a real necessidade de equipamentos e operadores visando à determinação do menor custo antes que qualquer investimento seja feito.

## Referências

- BIAGGIO, C. T. A., DOERN, C. L. P., PEREIRA, L. P. M., SAITTO, M. E., DOERN, R., MAIURI, S. *ABM – Activity Based Management – Gestão Baseada em Custeio por Atividade*. Série Contabilidade, Faculdade São Luís, 1999.
- COLMANETTI, M. S. *Modelagem de sistemas de manufatura orientada pelo custeio das atividades e processos*. Dissertação de mestrado. Escola de engenharia de São Carlos, USP, São Carlos – SP, 2001.
- CUNHA, A. S.; PINTO, Ricardo L. U. F. Uma técnica para ajuste dos parâmetros de um Algoritmo Genético. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2001.
- FU, Michael C. - Optimization for Simulation: Theory vs. Practice. *Journal on Computing*, vol. 14, n 3, 2002.
- GUNASEKARAN, A; SARHADI, M. Implementation of activity based costing in manufacturing. *International Journal of Production Economics*, Elsevier Science, 1998.
- HARREL, C. R.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. *Simulation Using Promodel*. McGraw-Hill, 2000.
- HILLIER, F.; LIEBERMANN, G. J. *Introduction to operations research*. McGraw-Hill; 1988.
- ISO, Norma técnica ISO 2000, ABNT, versão 2000.
- IZIDORO, Sandro C. *Determinação do número de agrupamentos em conjunto de dados multidimensionais utilizando Algoritmos Genéticos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), UNIFEI, Itajubá - MG, 2001.
- KAPLAN, R. S., COOPER, R. *Custo e desempenho: Administre seus custos para ser mais competitivo*. Ed. Futura, São Paulo, 2000.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. *Simulation modeling and analysis*. New York: Mc Graw-Hill, 1982.
- LEA, B. R.; FREDENDALL, L. D. The impact of management accounting, product structure, product mix algorithm, and planning horizon on manufacturing performance. *International Journal of production Economics*, Volume 79, Elsevier Science, 2002.
- MARTINS, E., *Contabilidade de custos, inclui ABC*. Ed. Atlas, São Paulo, 2001.
- OLIVEIRA, Francisco A. *A Gestão Baseada em Atividade aplicada em ambientes celulares: uma abordagem metodológica*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), UNIFEI, Itajubá - MG, 2003.
- PAMPLONA, E. O. *Contribuição para análise crítica do sistema de custos ABC através da avaliação dos direcionadores de custos*. Tese de doutorado. EAESP, FGV - Fundação Getúlio Vargas, SP, 1997.
- PEREIRA, I. C. *Proposta de sistematização da simulação para fabricação em lotes*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), UNIFEI, Itajubá - MG, 2000.
- PROMODEL USER'S GUIDE. Promodel Corporation, 1997.
- PROTIL, R. M. Otimização do Processo Decisório Utilizando Simulação Computacional. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2001.

SHANNON, Robert E. *Systems simulation: the art and science*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1975.

SIMÕES, Anabela B. *Transposição: estudo de um novo operador genético inspirado biologicamente*. Dissertação de mestrado em engenharia informática, Universidade de Coimbra, Coimbra - Portugal, 1999.

TANOMARU, J. Motivação, fundamentos e Aplicações de Algoritmos Genéticos. // *Congresso Brasileiro de Redes Neurais*, Curitiba, SC, 1995.