

# OTIMIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO MESTRE DA PRODUÇÃO ATRAVÉS DE ALGORITMOS GENÉTICOS

**Guilherme Ernani Vieira**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)  
Rua Imaculada Conceição 1155 - Curitiba - 0215-901 - Paraná - Brasil

**Marcio Morelli Soares**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)  
Rua Imaculada Conceição 1155 - Curitiba - 0215-901 - Paraná - Brasil

**Oswaldo Gaspar Junior**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)  
Rua Imaculada Conceição 1155 - Curitiba - 0215-901 - Paraná - Brasil

**Abstract:** The master production schedule is a manufacturing plan of products to be produced in fixed time intervals. It is one of the modules that constitute the production planning and control architecture, which, in summary, drives the manufacturing processes. It focuses on the rational and logic use of resources, equipment, people and materials of the company to attain greater productivity with less costs. This paper quickly explains important tools being used in optimization, describes some of the specification of a system that optimizes master production plans through the use of artificial intelligence, namely, genetic algorithms, and presents a structure for the system under development at PUCPR.

**Key-Words:** Master Production Scheduling, Genetic Algorithms, Production Planning, Optimization.

## 1 INTRODUÇÃO

Quando se faz uma análise do contexto econômico mundial, atualmente regido pelo capitalismo, visando entender a principal preocupação, tanto de pequenas como de grandes empresas, o resultado a que se chega é: ser competitivo. Para tanto, é de fundamental importância que a indústria possua um sistema de manufatura enxuto e produtivo, regido por um eficiente sistema de planejamento e controle da produção.

Em muitas indústrias, o controle da produção e de estoques representa um grande problema, caracterizado normalmente por inventários excessivos, equipamentos ou trabalhadores sem qualificação ou mal distribuídos e muitas regras que, na maioria, são “míopes” ou obsoletas. O uso de um sistema para Planejamento Mestre da Produção (MPS) otimizado vem justamente de encontro com a necessidade de romper estes paradigmas vigentes.

Uma definição simplificada para MPS diz que o planejamento mestre da produção é uma declaração do que a empresa deve produzir. É um programa antecipado de produção que engloba uma série de decisões de planejamento e que dirige o sistema de planejamento de necessidade de materiais (MRP). Representa o que a empresa pretende produzir expresso em configurações, quantidade e datas específicas. Não é uma previsão de vendas, mas leva em conta a demanda, o plano de produção geral e importantes considerações como solicitações pendentes, disponibilidade de material, disponibilidade de capacidade, políticas e metas gerenciais, níveis de estoque projetados e quantidades disponíveis para promessa (ATP) [1].

Para uma pequena indústria, a geração do plano mestre pode ser feito manualmente com base na experiência e conhecimento nos processos, porém, para uma indústria de médio a grande porte, que possui uma grande variedade de produtos e diversas linhas de produção, encontrar um eficiente MPS é uma tarefa difícil, bastante demorada e trabalhosa.

Mas hoje em dia não basta apenas trabalhar com um bom planejamento e controle da produção. Para se manter competitivo é preciso otimizar os níveis de estoque, a utilização de recursos, os custos produtivos, os tempos de trocas e requerimentos não atendidos. Por esta razão, várias técnicas ou paradigmas têm surgido tentando solucionar o problema da criação de planos ou programas de produção sob o enfoque da otimização. Alguns exemplos são o uso de estratégias como Programação Linear e Não-Linear, *Simulated Annealing*, Redes Neurais, Busca Tabu e Algoritmos Genéticos em otimização.

Portanto, o desenvolvimento de uma ferramenta computacional capaz de aplicar tais paradigmas tem como objetivo auxiliar e acelerar o processo de planejamento e programação da produção sob o enfoque geral: reduzir custos e aumentar a produtividade. Este trabalho descreve algumas das ferramentas existentes e faz uma rápida explicação sobre as especificações necessárias ao desenvolvimento de um sistema MPS com otimização através de algoritmos genéticos.

## 2 O MPS E SEU CONTEXTO NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O MPS constitui um dos módulos que compõem a estrutura de planejamento e controle da produção, conforme ilustrado na Figura 1 [2].

O planejamento mestre da produção é resultado de inúmeros fatores como: promessas de data de entrega de mercadorias pelos fornecedores, capacidade da planta industrial, estratégias e objetivos traçados (ex: níveis de estoque mínimo) e envolve troca de informações entre departamentos, por exemplo, entre o departamento de marketing e o de manufatura, na elaboração da previsão (requerimentos brutos) de vendas e produção.

Um exemplo de Planejamento Mestre é mostrado a seguir, considerando-se um único produto (item 12345), sem levar em conta a capacidade dos recursos utilizados na fabricação (capacidade infinita) e numa base de tempo semanal (Sem.) – Ver Tabela 1.

Uma explicação rápida seria a seguinte, inicialmente conhece-se o estoque inicial, estoque de segurança e o tamanho do lote padrão. A linha de “Requerimento Bruto” (RP) foi obtida de setores acima do MPS, é o resultado da previsão de produção. O “Requerimento Líquido” (RL) é calculada com base no RB, estoque inicial, lote padrão e o estoque de

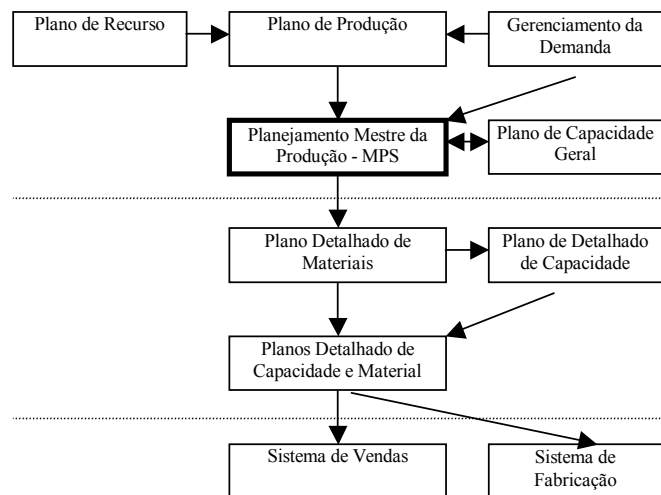


Figura 1. MPS e o seu contexto dentro do Planejamento e Controle da Produção

	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4
Estoque Inicial	100	175	100	100
Lote Padrão	100	100	100	100
Requerimento Bruto	225	225	250	200
Estoque de Segurança	100	100	100	100
Requerimento Líquido	300	200	300	200
<b>MPS</b>	<b>300</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>200</b>
Estoque Final	175	150	150	100

Tabela 1 – Plano-mestre para as próximas quatro semanas do item 12345 (capacidade infinita).

segurança e indica a quantidade a ser produzida caso a capacidade produtiva fosse infinita (que é o caso desta ilustração). Na primeira semana, o estoque inicial é de 100 unidades, como o RB é de 225 peças, precisa-se produzir pelo menos 125 unidades nesta semana. O RL não pode ser 125, pois este deve ser múltiplo de 100 (lote padrão). Por outro lado, produzir 200 peças não respeitará o estoque de segurança e, portanto, requisito líquido tem que ser 300 unidades (ver Tabela 1). O processo irá se desenvolver desta maneira até o limite temporal estabelecido. Apesar de não considerado, um MPS de 300 unidades para semana 1, poderia consumir por exemplo, 20% da capacidade disponível de produção daquela linha naquela semana.

O algoritmo de otimização do MPS vem ao encontro, não neste caso, que se resume a apenas um produto e não leva em conta as capacidades finitas disponíveis, mas sim, em uma situação mais complexa, podendo ocorrer, por exemplo, quando da existência de diversos produtos a serem fabricados simultaneamente e que competem pelos mesmos recursos (máquinas, linhas de produção e de montagem). O problema de se gerar um Plano Mestre nestes casos será grande, pois vários objetivos são antagônicos como, por exemplo, a minimização de tempos de troca e a minimização de estoques, ou ainda, a maximização dos níveis de atendimento e a minimização dos níveis de inventário.

É preciso, portanto, otimizar a distribuição dos tempos de maneira que seja possível se encontrar os planos ótimos de operação ou pelo menos próximo dos valores ótimos, tentando-se conciliar esses antagonismos aos melhores níveis operacionais.

Para se chegar a um resultado ideal, ou próximo deste, é necessário usar técnicas de otimização que levem em consideração as várias possibilidades existentes e selecionar a que melhor condiz, representa e/ou satisfaz os objetivos estabelecidos. Atualmente existem inúmeros paradigmas sendo utilizados na criação de planos ou programas ótimos de produção. Dentre elas, pode-se citar: Programação Linear/Não Linear, Busca Tabu, Simulated Annealing e Algoritmos Genéticos, ênfase, entretanto, é dada a Algoritmos Genéticos, uma vez que se entende que esta técnica produzirá resultados muito bons em tempo computacional aceitável.

Atualmente existem vários fabricantes de sistemas MPS, a maioria, entretanto, não aplica algoritmos de otimização em suas soluções, usando apenas estratégias como “*just-in-time*” ou simplesmente regras de despacho.

Portanto, são quatro as razões para o desenvolvimento deste trabalho: (a) grande maioria do produtos existentes não fazem otimização, (b) Os sistemas com otimizadores são muito caros, (c) A tecnologia de otimização por intermédio de algoritmos genéticos tem sido utilizada com relativo sucesso [3,4,5,6], e (d) A maioria dos sistemas MPS encontrados são de fabricantes estrangeiros, esta será uma ferramenta nacional.

### 3 PARADIGMAS PARA GERAÇÃO DE PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Quando na resolução de problemas envolvendo *scheduling*, seja ele um programa de produção ou planejamento mestre, como no caso deste trabalho, duas abordagens existem. Abordagens ótimas e as abordagens aproximadas. As abordagens ótimas são utilizadas em problemas de pequeno porte. Para problemas maiores, utilizam-se as abordagens aproximadas, que não chegam necessariamente a uma solução ótima, mas apresentam um bom resultado, com um tempo computacional razoável. Na abordagem aproximada, entre as técnicas mais utilizadas pode-se destacar, programação linear, algoritmos genéticos, algoritmos de busca local, busca tabu e o *simulated annealing* (recozimento simulado) [7].

Algumas dessas técnicas apresentam resultados tão próximos aos ótimos que acabam sendo chamados de técnicas de otimização, quando na realidade fazem uma pseudo-otimização. Neste trabalho, mesmo não sendo sempre correto, também consideramos algoritmos genéticos como um paradigma para otimização, neste caso, do Planejamento

Mestre da Produção. A seguir, faz-se uma rápida explicação sobre essas técnicas, dando-se ênfase, entretanto aos algoritmos genéticos, técnica esta, utilizada nesse trabalho.

### 3.1 Programação Linear

Programação Linear (PL) é uma ferramenta utilizada para encontrar o lucro máximo ou o custo mínimo em situação das quais têm-se diversas alternativas de escolha sujeitas a algum tipo de restrição ou regulamentação. Na prática PL tem sido aplicada em áreas diversas, como rotas de transporte, planejamento e programação da produção, agricultura, mineração, localização industrial, etc.[8] Uma das principais desvantagens na utilização de PL está no tempo gasto na busca da solução ótima devido à explosão combinatória que pode ocorrer [9]

### 3.2 Subida da Montanha – *Hill Climbing*

Algoritmos subida da montanha (*hill climbing*), tentam melhorar continuamente uma solução gerada inicialmente por alguma heurística construtiva [9]. A maior limitação

do método de subida da montanha são os máximos locais. Por exemplo, considerando a curva da Figura 2, quando na procura do ponto ótimo A, o algoritmo poderia considerar como pontos ótimos os pontos B ou C. Poderia ainda ficar “girando em círculos” caso a busca do ponto mais alto da curva iniciasse em uma planície. Para tentar resolver o problema dos máximos e mínimos locais dois métodos surgem como extensões do método de busca local: busca Tabu e o *simulated annealing* (recozimento simulado) [9].

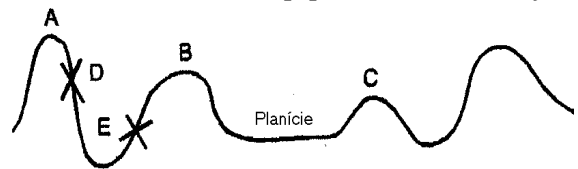


Figura 2 – Ilustração para o *Hill Climbing*

### 3.3 Busca Tabu

A busca Tabu é uma estratégia de controle para algoritmos de busca local. Uma lista tabu impõe restrições para guiar o processo de busca, evitando ciclos e possibilitando a exploração de outras regiões do espaço de soluções. Na busca tabu escolhe-se o melhor vizinho, dentre os que não estão proibidos (aqueles que não estão na lista tabu). A lista de movimentos proibidos é formada pelos movimentos opostos aos movimentos realizados mais recentemente. O movimento fica na lista tabu por um número limitado de passos. Logo após ele volta ao rol de movimentos permitidos. Assim, a cada iteração não são permitidos movimentos para um determinado subconjunto de vizinhos. [7]

### 3.4 Simulated Annealing

A técnica conhecida como *simulated annealing* simula o resfriamento por etapas de ligas metálicas derretidas e usa o conceito de transições probabilísticas. A idéia é que, a altas temperaturas, as moléculas se comportam de modo aleatório, transitando tanto para estados de maior como de menor energia; à medida que a temperatura abaixa, porém, a probabilidade das moléculas saltarem para estados de maior energia diminui [10]. O algoritmo funciona da seguinte maneira. Como a subida da montanha a busca inicia de um ponto gerado randomicamente ou por um determinado método heurístico. A cada iteração, um ponto vizinho randômico é analisado. Caso este ponto esteja mais próximo da solução então este ponto é considerado como o novo ponto de análise. Caso contrário este ponto vizinho só será aceito como um ponto válido de acordo com uma probabilidade relativa a “temperatura” atual do sistema [9].

A seção seguinte trata com mais detalhes o último paradigma que sendo usado na geração “otimizada” de planos e programas de produção. Recebe maior ênfase e destaque por ser a técnica utilizada neste trabalho, conforme explicado a seguir.

#### 4 ALGORÍTMOS GENÉTICOS

Algoritmos genéticos (AGs) são métodos computacionais de busca baseados nos mecanismos de evolução natural e na genética. Em AGs, uma população de possíveis soluções (indivíduos) para o problema considerado evolui de acordo com operadores probabilísticos concebidos a partir de metáforas aos processos biológicos (cruzamento genético, mutações, sobrevivência dos mais aptos), de modo que há uma tendência de que os indivíduos mais aptos representem soluções cada vez melhores à medida que o processo evolutivo continua [10].

Nos AGs, as variáveis de uma função a ser otimizada são codificadas em um vetor chamado cromossomo. Um cromossomo é composto por finitos genes que podem ser representados por um alfabeto binário ou por um alfabeto de maior cardinalidade. Operadores de reprodução, cruzamento e mutação são aplicadas aos cromossomos de uma população, garantindo a sobrevivência dos cromossomos mais aptos, elevando a uma melhoria da qualidade dos indivíduos (soluções) em gerações sucessivas [7]. De modo geral, os AGs têm características como:

- operam numa população (conjunto) de pontos, e não a partir de um ponto isolado;
- operam num espaço de soluções codificadas e não no espaço de busca diretamente;
- necessitam somente de informações sobre o valor de uma função objetivo para cada membro da população e não requerem derivadas ou qualquer outro tipo de conhecimento.
- usam transições probabilísticas, e não regras determinísticas [10].

Geralmente os AGs tem melhores chances de encontrar soluções mais próximas da solução ótima do que os algoritmos baseados no *Hill Climbing*, já que operam sobre uma parte maior do espaço de busca. Porém o custo desta eficiência é um tempo maior de processamento [9].

Devido as características apresentadas, decidiu-se por utilizar a teoria dos Algoritmos Genéticos na otimização de Planos Mestres da Produção. Uns dos grandes desafios será a representação cromossômica de um plano mestre da produção com capacidade finita e os operadores cromossômicos utilizados na geração de planos mestres. As etapas envolvidas na execução de um algoritmo genético podem ser representadas pelo fluxograma da Figura 3 [11]. De forma aleatória, gera-se uma população inicial de indivíduos, representados pelos cromossomos e, através de uma função de adequabilidade, mede-se o quão boa uma determinada solução (cromossomo) é. Tendo um fator de adequabilidade (FA) associado a cada indivíduo da população, executa-se um processo que simula a seleção natural.

Nesta etapa, indivíduos com índices baixos de adequabilidade serão extintos e substituídos por elementos

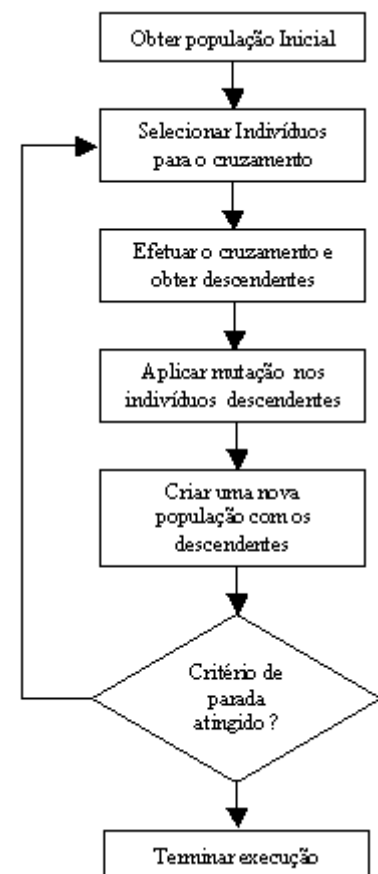


Figura 3. Fluxograma de um AG



com maiores índices (mais aptos), mantendo-se assim uma população de tamanho fixo.

A próxima etapa consiste em um cruzamento entre os indivíduos da população (Figura 4a). É importante destacar que indivíduos com maiores FAs, terão uma maior probabilidade de serem os escolhidos para o cruzamento propagando seu genes para as próximas gerações.

Após a realização do cruzamento uma mutação (Figura 4b), é aplicada aos cromossomos da população de acordo com uma probabilidade de ocorrência de mutação. Consiste em alterar um gene aleatório de um indivíduo qualquer da população para um determinado valor possível de ser encontrado. No caso em questão apenas dois valores são possíveis. De modo análogo à natureza, a mutação genética possui uma pequena probabilidade de ocorrência e atingirá um numero pequeno de indivíduos alterando o mínimo de genes.

Assim o processo de seleção tem a função de formar uma população onde os mais aptos estarão presente em maior número, simulando o processo da natural. O cruzamento busca combinar material genético na esperança que indivíduos com melhores características genéticas que os pais sejam obtidos. A mutação busca garantir que nenhuma informação seja totalmente perdida nos processos anteriores.

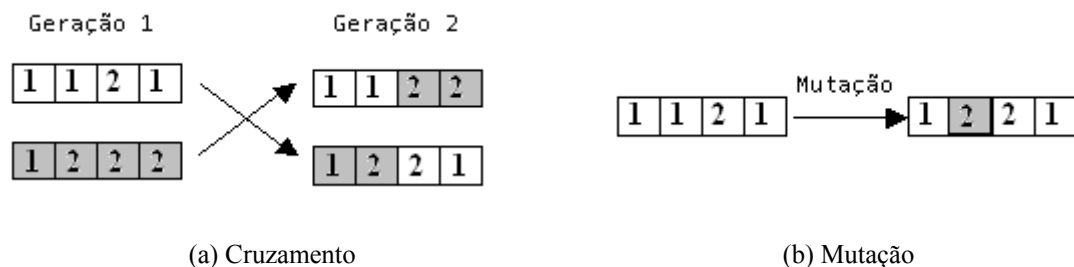


Figura 4. Operadores Cromossômicos

Caso a seleção não fosse aplicada os AGs teriam comportamento muito similar a uma busca aleatória. As combinações dos processos de mutação, cruzamento e seleção proporcionam uma espécie de seleção de busca local nas proximidades dos melhores indivíduos da população. Sem a mutação (Figura 4b) a busca se restringiria apenas a informações de uma determinada população e material genético que eventualmente fosse perdido em um processo de seleção nunca poderia ser recuperado [10].

#### 4.1 Um exemplo do uso de AGs

Para um melhor entendimento do modo de operação dos algoritmos genéticos em problemas de planejamento e programação da produção, um caso simples e fictício de *job-shop scheduling* é apresentado. A tabela 2 descreve um conjunto de ordens de serviço que precisam ser programadas, num sistema com duas máquinas. Neste exemplo, o objetivo final poderia ser encontrar o programa de produção que minimize o tempo de fluxo ( $T_f$ ) máximo.

O primeiro passo para a resolução do problema através de AG é encontrar uma representação cromossômica para o problema. Imagine por exemplo o programa de produção representado no Gráfico de Gantt da Figura 5. Uma possível representação para esta solução seria o cromossomo “1,2,1,2”, conforme ilustrado na Figura 6.

Ordem N°	Tipo do Produto	Qtd. a produzir
1	A	20
2	B	30
3	A	10
4	B	45

Máq. p/ Ordem 1	Máq. p/ Ordem 2	Máq. p/ Ordem 3	Máq. p/ Ordem 4
1	2	1	2

Figura 6. Representação do Cromossomo

A representação cromossômica consiste em um vetor de quatro elementos, correspondentes as quatro ordens de fabricação que precisam ser atendidas. Cada elemento da *string*, gene, contém o número da máquina que atenderá a ordem correspondente a sua posição na *string*. O cromossomo portanto, trará como informação as máquinas que deverão atender cada ordem de fabricação.

O próximo passo será analisar a geração produzida buscando indivíduos que possuam o critério de parada, por exemplo um fator muito alto de adequabilidade. Caso exista tal indivíduo a busca é encerrada caso contrario o ciclo seleção, cruzamento e mutação são repetidos.

O exemplo apresentado tem a finalidade de mostrar de forma rápida a modelagem e as operações básicas de um AG na resolução de problema de *scheduling*, de forma particular um *job-shop scheduling*. Entretanto, de modo algum reflete a complexidade envolvida num caso real de aplicação. Por outro lado, conceitos básicos aqui apresentados poderão ser aplicados em casos mais complexos de *scheduling*, seja ele um programação da produção ou planejamento mestre.

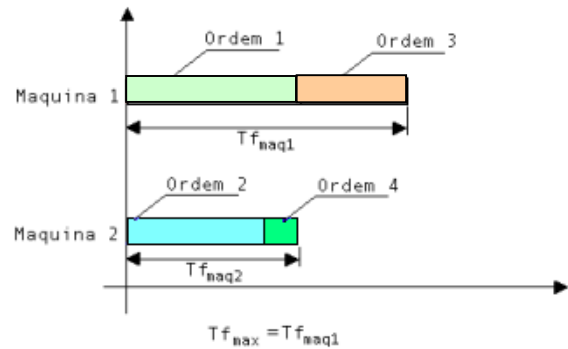


Figura 5. Um programa de produção

## 5 UM AMBIENTE DE GERAÇÃO DO MPS COM OTIMIZAÇÃO

O diagrama da Figura 7 apresenta a arquitetura do sistema de planejamento mestre da produção otimizado sendo desenvolvido neste projeto.

O modo projetista consiste na interface com o usuário responsável por definir as características produtivas do sistema de manufatura. Neste modo são definidos também os produtos que podem ser fabricados na planta e todas suas características.

O modo programador consiste em uma interface na qual o usuário responsável por fazer o planejamento irá interagir. Neste ambiente o usuário poderá definir o *mix* de produtos, quantidades e prazos de produção e visualizar características de produtos, definição de intervalos de tempos, definição de critérios de otimização, impressão de relatórios, etc.

Um banco de dados armazena todas as informações do sistema, tanto do modo projetista quanto programador.

O módulo de otimização conterá as estruturas e algoritmos de otimização do MPS. É responsável por unir as informações definidas no módulo do Modo Projetista com os dados do Modo Programador.

O módulo Resultados MPS consiste na interface que irá apresentar ao usuário os resultados gerados através da interface gráfica, relatórios e permitirá sua armazenagem não somente no banco de dados do sistema quanto em BD de outras plataformas, com em sistemas MRP e ERP (*Enterprise Resource Planning*).

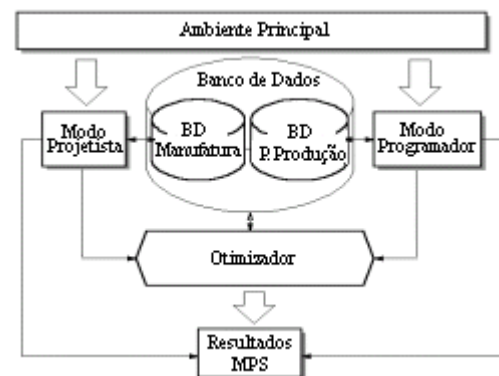


Figura 7 – Módulos do sistema proposto.

## 6 CONCLUSÃO

Este artigo descreveu um projeto em andamento que propõe o desenvolvimento de um sistema de planejamento mestre da produção que, através de algoritmos genéticos, gera o plano mestre de produção otimizado. Dentre os principais critérios de otimização sendo considerados, tem-se os custos de produção, de armazenagem e de trocas (ou preparação de máquinas), aliados a parâmetros como níveis de estoque de segurança e, claro, disponibilidade de capacidades e de materiais.

Existem inúmeros trabalhos que utilizam AGs em problemas de programação da produção, entretanto, não foram encontrados nenhum que lidasse com problema de planejamento mestre. Imagina-se que o motivo principal seja o fato que normalmente as quantidades a serem programadas não são fixas, pois acaba-se dividindo ou realocando-se as quantidades pré-planejadas (“requerimentos líquidos”) para períodos posteriores ou anteriores, de maneira a se compartilhar a capacidade finita do chão-de-fábrica e se minimizar (ou maximizar) objetivos operacionais.

A elaboração de um plano mestre de produção otimizado, neste caso através de algoritmos genéticos, de modo algum pode ser considerado como um problema de pequeno porte [6]. Neste trabalho, considera-se a resposta dada por tais algoritmos como uma resposta ótima (não necessariamente a melhor solução possível, mas, que devido a complexidade do problema, “mais otimizada” do que soluções encontradas sem o auxílio dos mesmos).

As regras de execução de operadores genéticos, o número preciso de MPSs de partida (tamanho da população), como será feito o cruzamento entre MPSs e suas mutações estão neste momento sendo especificados.

Por fim, foi apresentado rapidamente a arquitetura do sistema proposto. Nesta plataforma, a ênfase está sendo dada ao módulo “otimizador”, conforme detalhado no artigo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Cox, J. F., and Blackstone Jr, J. H. “APICS Dictionary” – Tenth Edition. 2001.
- [2] Vollmann, T. E., Berry, W. L., and Whybark, D. C. Manufacturing Planning and Control Systems. Irwin – Third Edition. 1992.
- [3] Cleveland, G. A., Smith, S.F. “Using Genetic Algorithms to Schedule Flow Shop Releases.” Proc. Third Int. Conf. Genetic Algorithm. 1989.
- [4] Davis, L., “ Job Shop Scheduling with Genetic Algorithms” Proc. First Int. Conf. Genetic Algorithms. 1985.
- [5] Fang, H. L., Ross, P., and Corne, D., “A Promising Genetic Algorithm Approach to Job Shop Scheduling, Rescheduling & Open Shop Scheduling Problems.” Proc. Fifth Int. Conf. Genetic Algorithms. 1993.
- [6] Nakano, R. “Conventional Genetic Algorithms for Job-Shop Problems,” Proc. Fourth Int. Conf. Genetic Algorithms. 1991.
- [7] Brochonski, P. C. “Um Sistema para Programação da Produção de Máquinas de Composição SMT”, Curitiba. 1999.
- [8] Prado, D. Programação Linear – Série Pesquisa Operacional – 1 Volume. 2ª. Edição, Editora DG. 1999.
- [9] Tsang, E. P. K. “Scheduling Techiques – A Comparative Study”. BT Technol J Vol-13 N. 1 Jan 1995.
- [10] Tanomaro, J. “Fundamentos e Aplicações de Algoritmos Genéticos.” Segundo Congresso Brasileiro de Redes Neurais.
- [11] Wall, M. B.. “A Genetic Algorithm for Resource-Constrained Scheduling.” Department of Mechanical Engineering - Massachusetts Institute of Technology. 1996.
- [12] Proud, J. F., “Master Scheduling: A Practical Guide to Competitive Manufacturing”, 2<sup>nd</sup> Ed – 1999.