

# **Sequenciamento correto na conformação de tubos leva ao aumento da produtividade e à redução de custos**

**Pedro Paulo Lanetzki**

Graduado em Engenharia de Produção e Analista de Sistemas da Netz Soluções Industriais

**Luana Lanetzki**

Graduada em Ciências da Computação com especialização em Automação e Robótica e Analista de Sistemas da Netz Soluções Industriais

## Resumo

O que se propõe é uma solução inovadora, totalmente diferenciada em relação ao existente no mercado, voltada ao planejamento, programação e controle da produção, na forma de um *software* de Simulação e Gerenciamento de Manufatura, utilizando da oferta disponível de recursos, simulando estudos e cenários desde a elaboração e otimização do plano-mestre, até a programação fina do chão de fábrica.

Utiliza de recursos e conceitos de redes *PERT-CPM* e do planejamento pelo caminho crítico, alicerçado na Teoria das restrições e tendo como base a capacidade finita de recursos, possuindo um simulador de alto nível para sequenciamento e otimização da carga de máquinas em linhas de produção com alto grau de interação.

Um dos grandes diferenciais apresentados pelo aplicativo é o de executar o processamento de forma totalmente automática, sem qualquer intervenção do usuário. Isto garante regularidade do processamento, redução do tempo de execução e liberação do usuário para outras atividades, eliminando assim, sua participação nas atividades rotineiras envolvidas no processamento.

O *software* utiliza de instruções programadas para que seja possível realizar o processamento de forma totalmente automática, estando estas instruções gravadas dentro da própria aplicação; a este conjunto de instruções denomina-se roteiro de processamento.

A uma operação fabril podem ser associadas tantas máquinas quantas tecnicamente viáveis existirem para executá-la, devendo o *software* optar por aquela que se apresentar mais rápida ou mais econômica; ao usuário cabe a responsabilidade de definir a área, cuja carga de máquinas deve ser otimizada e qual o roteiro de processamento a ser seguido, bem como confirmar e/ou alterar algumas das instruções presentes no roteiro escolhido.

É neste também que se identifica a amplitude da simulação a ser seguida, ou seja, até que ponto o processamento deve ter continuidade, a partir do qual, em não se conseguindo a otimização da carga de máquinas para a área selecionada, a execução é então interrompida.

Dependendo da amplitude a ser seguida pelo simulador, pode-se ter um número maior ou menor de ciclos de processamento; a cada um destes ciclos são executados todos os cálculos da carga de máquinas e após a sua conclusão, são analisadas todas as ordens de produção (OP's) e identificadas as eventuais críticas.

Em existindo OP's críticas e desde que não tenha sido atingido o limite dos ciclos, incrementos na jornada diária e no número de dias da semana, desde que previamente permitidos, são dados exclusivamente a estas OP's, iniciando assim um novo ciclo quando são refeitos todos os cálculos; a otimização da carga pode vir a ser conseguida, antes mesmo que o limite da amplitude da simulação tenha sido atingido.

A análise dos resultados da programação é realizada confrontando-se o requerido pelo cliente, com o que pode ser atendido pela carga de máquinas recém-elaborada.

Caso não ocorra atendimento de todos os itens, nas quantidades e datas requeridas, o simulador continua processando, até que consiga atender tudo que é solicitado, ou seja, atingido a amplitude máxima das simulações.

O aplicativo foi concebido de tal forma, que uma vez ocorridos desvios quer ligados diretamente à produção ou nas áreas interdependentes, o prazo para análise e constatação de seus resultados é substancialmente reduzido; isto é conseguido, visto que a aplicação pode ser processada, tantas vezes quantas se fizerem necessárias, ou seja, não é necessário esperar pelo amanhã, para tomar ciência do impacto do que acaba de acontecer.

## **Sequenciamento correto na conformação de tubos leva ao aumento da produtividade e à redução dos custos**

Há um bom tempo a indústria enfrenta diariamente a elaboração da carga de máquinas, a definição e o provisionamento das necessidades de materiais e o acompanhamento dos custos de produção em segmentos fabris bastante diversificados, seja em regimes de fabricação seriada como não seriada. Ao longo desse período, tem-se notado pouca evolução, principalmente nas técnicas envolvendo o planejamento e a programação da produção; já o setor de controle tem apresentado um quadro de inovação mais significativo.

Por falta de soluções efetivamente funcionais, o quadro de administração da produção tem sofrido mudanças substanciais de conduta. Na medida em que a competitividade entre as empresas e os mercados vai se tornando mais acirrada, tudo aquilo que pode eventualmente ser eliminado ou reduzido para minimização dos custos, se não for concretizado no estágio em que é detectado, é invariavelmente repassado a outros participantes da cadeia produtiva. A estes muitas vezes não resta outra alternativa a não ser absorver os problemas, já que inexistem meios de solucionar ou até mesmo minimizar tudo o que se apresenta. Nota-se que a intensidade das dificuldades em administrar a produção se acentua na medida em que se desce do topo da cadeia produtiva.

Os volumes a serem produzidos cresceram de forma significativa em relação ao passado e, muitas vezes, a disponibilidade de recursos da indústria não evoluiu no mesmo nível que a demanda, o que resulta em dificuldades no atendimento das novas solicitações então geradas. Outro grande complicador que hoje se apresenta é a reduzida folga oferecida pelos clientes aos fornecedores no que tange à necessidade de entrega dos lotes solicitados. Estes têm prazos de entrega cada vez mais rígidos e, em alguns casos, sua flutuação é mínima ou até mesmo inexistente.

Dada as variações de demanda do mercado consumidor ou até mesmo alterações estratégicas nas programações de produção dos clientes, frequentemente ocorrem mudanças dos volumes solicitados, bem como dos seus prazos de entrega. Isso requer do fornecedor agilidade de adaptação em sua carga de máquinas e alterações no suprimento de matéria-prima, o que invariavelmente só é conseguido após muito esforço e não necessariamente com o melhor desempenho. Tais dificuldades são causadas pela baixa oferta de técnicas que permitam uma pronta resposta, fornecendo soluções efetivamente funcionais, o que retrata um cenário verdadeiro, em que as figuras do que foi programado são realmente viáveis e factíveis de serem atingidas. Esse fato faz com que a parte intelectual da melhoria do planejamento dependa quase exclusivamente do elemento humano, e esse muitas vezes não dispõe de recursos suficientes, das mais diferentes naturezas, que permitam visualizar qual é a melhor solução para o quadro que se apresenta.

### **Problemática**

Dada uma carteira de pedidos, o quanto será necessário de cada um dos recursos a serem utilizados nos respectivos processos fabris, cruzando posteriormente com o que é disponibilizado de cada um deles, é uma condição importante, porém não suficiente.

A alternância dos itens envolvidos, suas variações nos volumes solicitados, as flutuações e concentrações de suas datas e compromissos de entrega não garantem que essa carteira possa ser atendida em sua totalidade quanto aos prazos solicitados, mesmo que a disponibilidade de recursos seja suficiente em toda sua amplitude.

Tal fato é causado principalmente pelo desbalanceamento das necessidades de um ou mais recursos ao longo do período em que são solicitados; uma visão macro dá a falsa impressão de que a carga será atendida, mas a realidade que se apresenta é outra, conforme ilustrado na

figura 1.

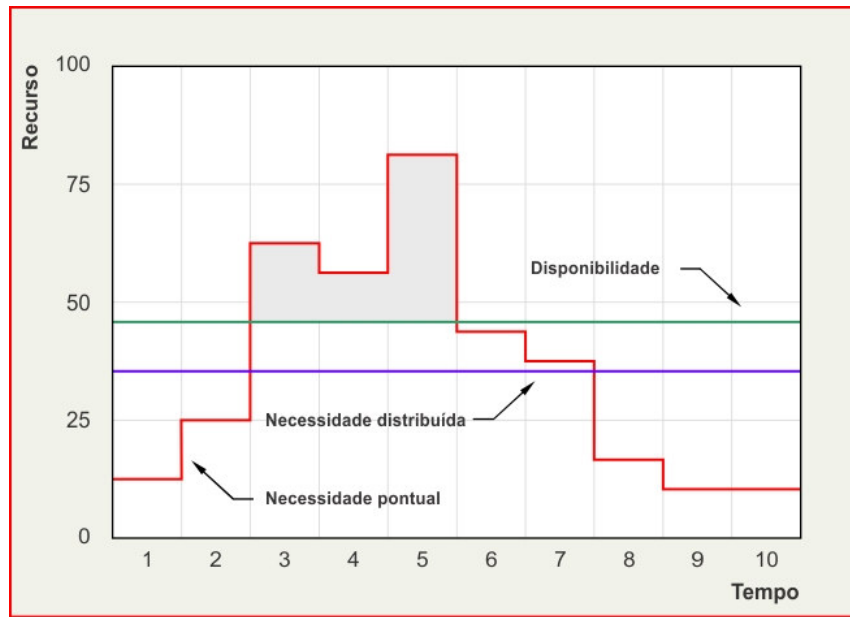


Fig. 1 – Comportamento da necessidade do recurso comparativamente à sua disponibilidade

É necessário saber o quanto uma dada operação fabril necessita do recurso; porém, essa informação não pode ser tratada de forma isolada no tempo, já que existem outros dados indispensáveis para que um planejamento condizente venha a ser gerado. Saber quais são as operações fabris antecessoras e a partir de que ponto da fabricação pode ser disparado o início de produção da operação em estudo são informações que começam a se cruzar e criar um quadro de dependência entre as atividades envolvidas. Não existe planejamento se não se sabe o que fazer, de quem se depende e a quem serão dadas condições de trabalho.

Redes de precedência ou redes IJ/PERT, são denominações dadas a este quadro de dependência entre as atividades envolvidas, que é o fundamento básico para alicerçar qualquer metodologia de planejamento. Existem derivações de conotação, porém a filosofia envolvida é a mesma. Veja um exemplo de configuração do fluxo de processo de um conjunto na figura 2.

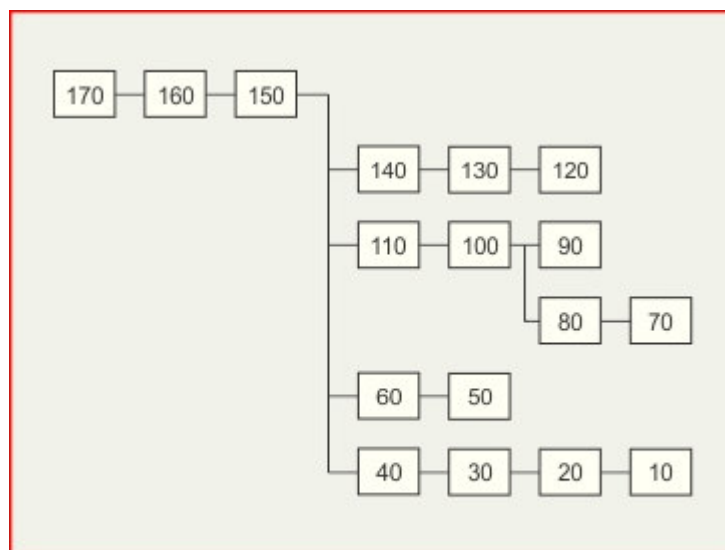


Fig. 2 – Configuração do fluxo do processo de um conjunto

Prefixar uma máquina para executar uma dada operação fabril, mesmo que existam outras em igualdade de condições de realizá-la, não parece ser a melhor solução, já que nada garante que esta máquina seja, dentre as demais, a mais econômica e/ou a mais rápida.

Um produto a ser fabricado envolve geralmente várias operações fabris e, a exemplo do que acaba de ser exposto, diversos roteiros de fabricação podem se fazer presentes, já que a cada operação fabril normalmente existem várias máquinas habilitadas para sua execução. Mais uma vez, prefixar um roteiro de fabricação sem analisar os demais não parece ser o caminho mais recomendado.

## Case

Para tornar mais amplo o assunto a ser abordado, optou-se por analisar a problemática apresentada pelo planejamento de linhas de usinagem e montagem de barras de direção, utilizadas no segmento automotivo, dado o grande número de operações fabris envolvidas, pela dinâmica e diversidade de seu abastecimento e pela própria complexidade do que se apresenta.

Na figura 3 encontra-se sintetizada a estrutura de linhas de usinagem e montagem de barras de direção, onde são processados vários modelos simultaneamente, podendo o *mix* de produção mudar diariamente, não só em sua composição (variam os modelos), mas também nas quantidades a serem produzidas.

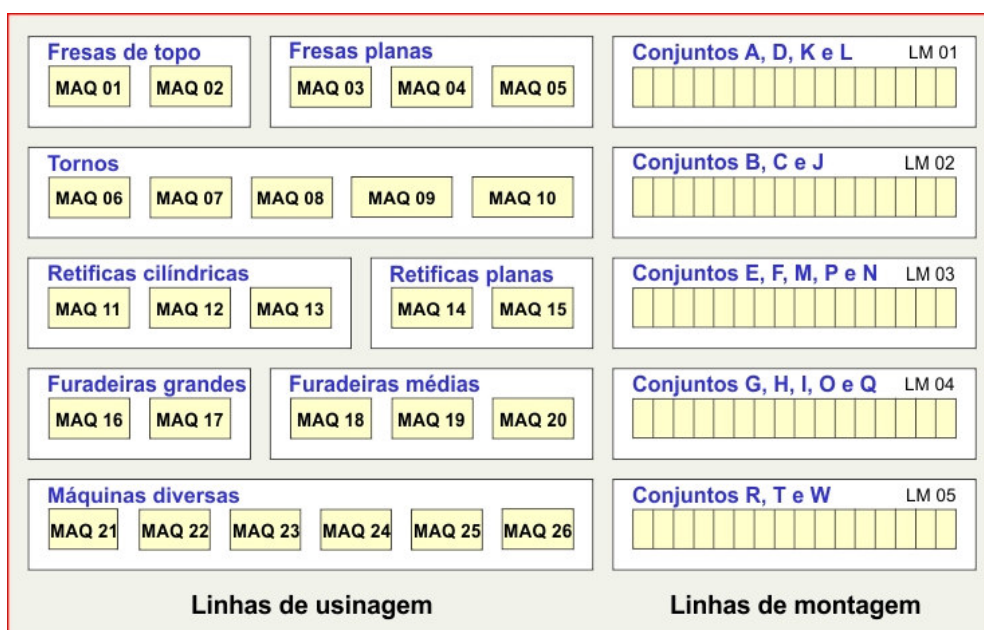


Fig. 3 – Estrutura sintetizada de linhas de usinagem e montagem de barras de direção

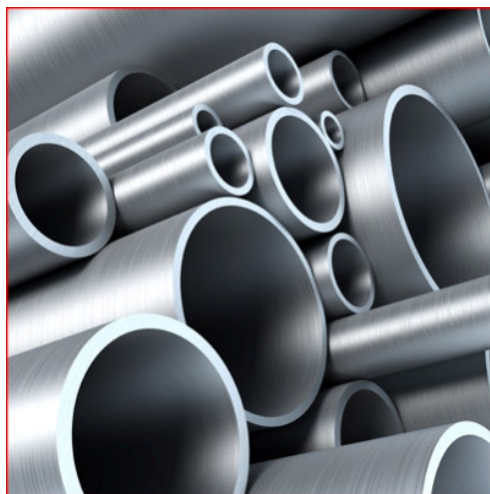
O desafio que se apresenta é o de manter o abastecimento das linhas, de forma que não ocorram quebras de modelos por falta de qualquer item, ou seja, em cada estação das linhas devem estar presentes todos os componentes requeridos pelos modelos que se encontram em produção.

Dado o grande número de modelos de barras de direção fabricados pela indústria, na qual foi alicerçado o presente *case*, notou-se que o maior gargalo de todo o processo fabril concentrava-se nas conformadoras de extremidades de tubos, devido a ampla variedade de diâmetros utilizados, o que exigia constante regulagem (*set up*) dos equipamentos. Essa situação é agravada por não haver qualquer critério de seleção prévia para enfileiramento da produção, quer pela natureza dos tubos, por seus diâmetros nominais e/ou por aqueles já reduzidos.

A figura 4 ilustra a vista parcial das barras de direção com seus diâmetros reduzidos; estas são obtidas a partir de tubos de aço, conforme mostrado na figura 5. Durante o processo fabril, esses tubos têm seus diâmetros reduzidos em suas extremidades; é nesta operação fabril, conforme já exposto, que se encontra a grande dificuldade em se otimizar todo o processo, sendo nossa proposição, senão resolver, ao menos minorar sua intensidade. A figura 6 ilustra o processo de redução do diâmetro, em uma das extremidades do tubo.



*Fig. 4 – Vista parcial das barras de direção com seus diâmetros reduzidos*



*Fig. 5 – Tubos de aço a serem utilizados na fabricação das barras de direção*



*Fig. 6 – Tubo com diâmetro reduzido em sua extremidade*

Embora o case adotado seja o que acaba de ser exposto, ressalta-se que a metodologia a ser apresentada atende a qualquer indústria cuja carteira de pedidos seja voltada a produções seriadas.

## Metodologia

Trata-se de um conjunto de conceitos e procedimentos inovadores, que objetivam dinamizar e tornar efetivamente funcionais as tarefas de planejamento e programação da produção de uma indústria. A idéia é produzir o estritamente requerido e, por intermédio da pesquisa diária, injetar recursos adicionais, tão somente onde se fizer necessário.

Posteriormente será abordado o simulador em si, o qual apresenta uma série de características diferenciadas e que aqui não são mencionadas por serem implícitas a ele e que serão descritas no próximo tópico. São apresentados a seguir alguns dos conceitos inseridos no presente estudo.

- **Concepção**

Proposição que se utiliza das técnicas do caminho crítico, dos conceitos da metodologia *Kanban*, da produção puxada e do JIT (*just in time*), associado a um simulador de alto nível para otimização da carga de máquinas e sequenciamento dos pedidos de venda e, conseqüentemente das ordens de produção (OP's).

- **Estruturação do processo fabril**

Cada modelo de barra de direção deve ser estruturado, de forma a conter os processos fabris de todos os seus componentes, bem como aqueles inerentes à linha de montagem.

A figura 7 ilustra de forma sintetizada a estruturação do processo fabril de uma barra de direção (embora não esteja explícita na ilustração, esta já se encontra estruturada na forma de uma rede de precedência).

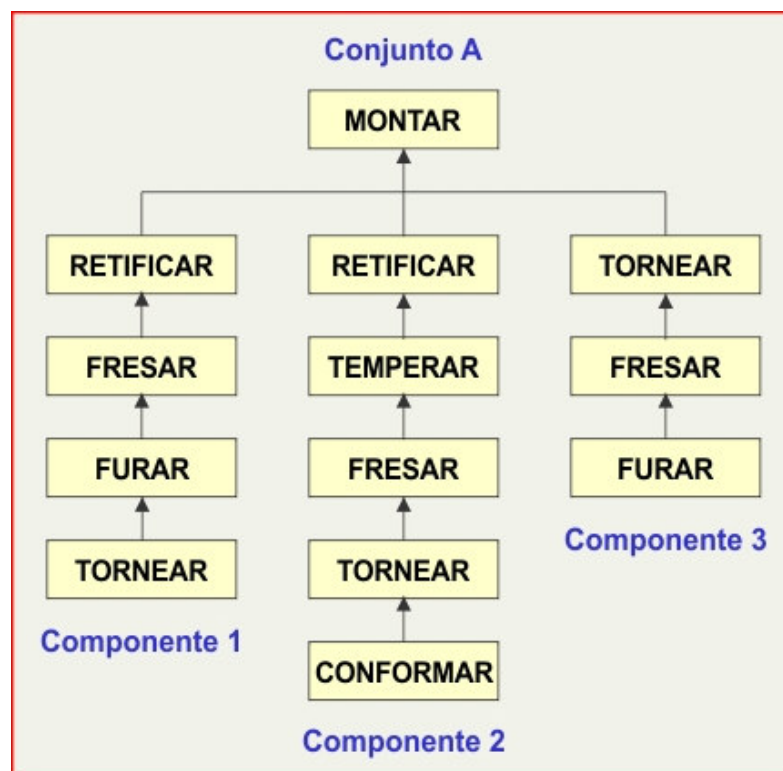


Fig. 7 – Estruturação do processo fabril da barra de direção A

- **Definição do que produzir**

A idéia é primeiramente a de se definir o que efetivamente produzir dos produtos acabados. Para isso, parte-se da previsão de vendas e da consulta aos estoques, às OP's já abertas e em execução e aos eventuais atrasos registrados. Monta-se assim o *mix* de produção.

Em uma segunda etapa e já com esta última definida, deve-se consultar o processo produtivo de cada uma das barras de direção em estudo e realizar os mesmos cálculos abordados anteriormente, definindo assim o que deve ser produzido de cada um dos componentes.

- **Alternativas de fabricação**

Uma dada operação fabril pode ter várias opções de fabricação, ou seja, existem várias máquinas tecnicamente viáveis que podem vir a executá-la. Estas podem ter parâmetros diferentes entre si e, sendo assim, a idéia é simular o comportamento de cada uma delas, face à carga compromissada correspondente e definir qual é a mais rápida e/ou mais econômica, conforme ilustrado na figura 8.

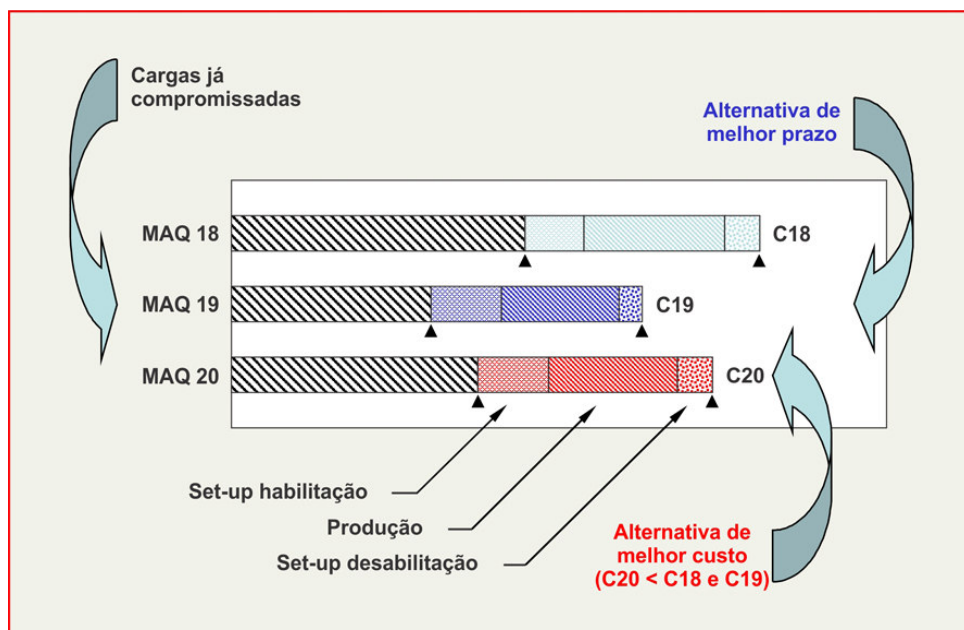


Fig. 8 – Alternativas de fabricação de uma operação fabril

- **Redução dos tempos de ajustes das conformadoras de tubos**

A sinergia envolvida na emissão de novos pedidos de venda, e mesmo na alteração daqueles já colocados (figura 9), não é acompanhada no mesmo ritmo pela remodelagem e otimização do planejamento e programação da produção. A carga de máquinas elaborada redundando em constantes mudanças da natureza dos materiais envolvidos, não havendo uma perfeita otimização da grade dos diâmetros nominais (iniciais) dos tubos e, por último, da grade dos diâmetros reduzidos. A figura 10 retrata como se apresenta a programação, que não obedece uma sequência ideal de produção, em razão dos parâmetros preestabelecidos.

Uma vez definidos os critérios de sequenciamento para os pedidos de venda (estes são válidos para as ordens de produção, após sua geração), parte-se então para um primeiro enfileiramento dos pedidos de venda, os quais devem ser ordenados, obedecendo a grade formada pelos diâmetros nominais (iniciais) dos tubos, a serem utilizados em cada uma das barras de direção.



Pedidos de venda					
PV	Barra de direção	Tipo Ø	Classificação	Ø sem redução	Ø com redução
1	B	M	●	3,50	2,40
2	F	P	○	3,00	2,20
3	J	M	○	4,00	3,20
4	D	G	○	5,00	4,00
5	O	P	○	3,00	1,85
6	G	G	●	4,50	3,15
7	K	P	●	2,50	1,65
8	A	M	●	3,50	2,60
9	N	G	○	5,00	4,20
10	H	P	○	3,00	2,05
11	E	G	●	4,50	3,75
12	L	M	○	4,00	2,95
13	I	G	●	4,50	3,25
14	C	M	○	4,00	3,55
15	M	P	●	2,50	1,70

Fig. 9 – Pedidos de venda de barras de direção em um dado período

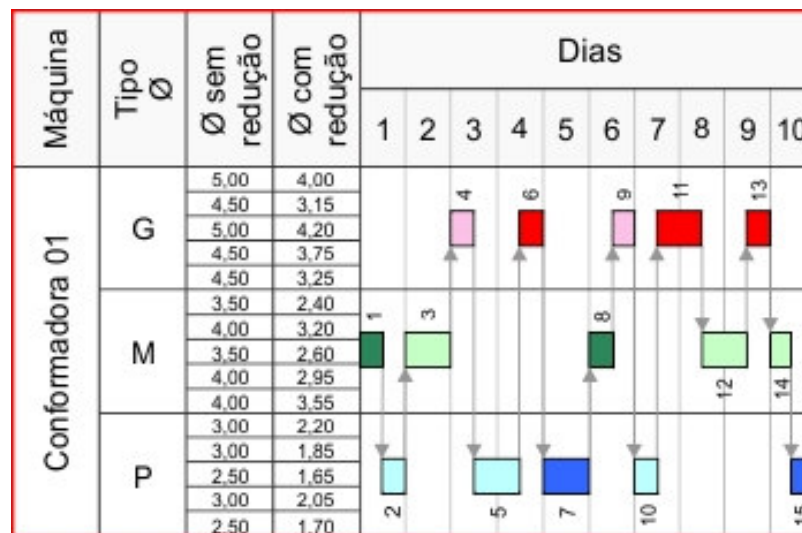


Fig. 10 – Sequenciamento anterior para redução do diâmetro das extremidades dos tubos

Esta grade pode ser iniciada pelos maiores diâmetros nominais dos tubos e, progressivamente, ir atingindo os patamares menores (é importante lembrar que o inverso também é válido).

Uma vez definido o sequenciamento dos diâmetros nominais dos tubos, parte-se então para uma segunda ordenação dos pedidos de venda, os quais já devidamente

enfileirados em seus diâmetros nominais, são então submetidos à grade formada pelos diâmetros reduzidos.

Esta segunda grade pode ser iniciada pelos maiores diâmetros reduzidos dos tubos e, progressivamente, ir em direção aos valores menores (lembrar que o inverso também é válido). Isso permite reduzir o número de ajustes nas conformadoras, bem como agilizar a passagem de um estágio para outro.

Utilizando-se dos conceitos expostos, o sequenciamento dos pedidos de venda (e, por conseguinte das ordens de produção), bem como a carga das conformadoras, passam a ter a configuração ilustrada na figura 11.

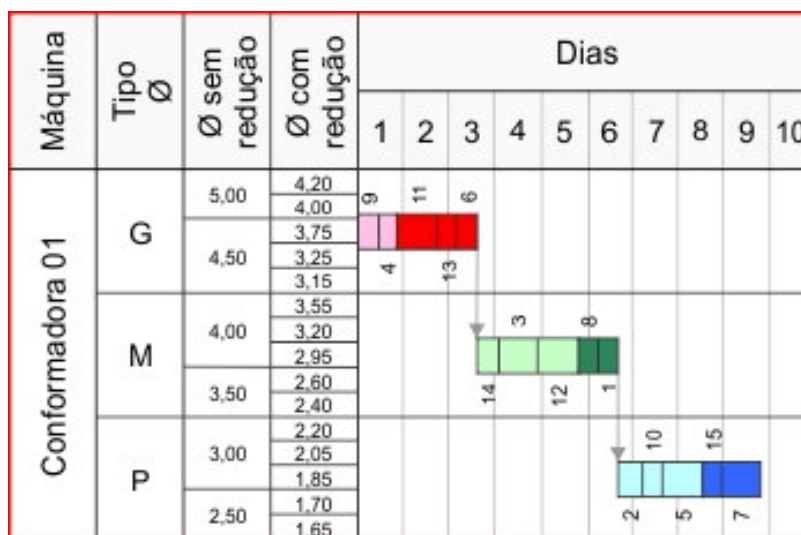


Fig. 11 – Sequenciamento atual para redução do diâmetro das extremidades dos tubos

O fato de melhorar as condições de trabalho na área de conformação de tubos não elimina de vez a problemática de otimização do planejamento de toda a fábrica, tendo em vista que ao se eliminar um gargalo, outros de menores intensidades passam a se revelar e podem apresentar potencialidades suficientes para impedir que os objetivos propostos venham a ser alcançados.

### Roteiros de fabricação para produção da barra de direção A

Para se ter uma idéia da complexidade envolvida em determinar quais são os melhores roteiros de fabricação no caso da barra de direção A, toma-se como referência a estrutura de seu processo fabril (figura 7).

A cada operação fabril associada ao processo são definidas tantas máquinas quantas tecnicamente viáveis existirem. Estas podem possuir tempos de *set up*, ciclos de produção e custos diferentes entre si. As alternâncias de fabricação estão ilustradas na figura 12.

Uma vez identificadas a estrutura do processo fabril e as máquinas tecnicamente viáveis para produção de cada uma das operações, são então definidos todos os roteiros de fabricação do conjunto, conforme ilustrado na figura 13.

O componente 1 apresenta 36 alternativas em seus roteiros de fabricação; o componente 2 têm 48 alternâncias, ao passo que o componente 3 possui 18, o que totaliza 102 roteiros diferentes. Dentre estes, existirá para cada um dos componentes somente um roteiro de fabricação mais rápido e um mais econômico, cabendo a sistemática determiná-los.

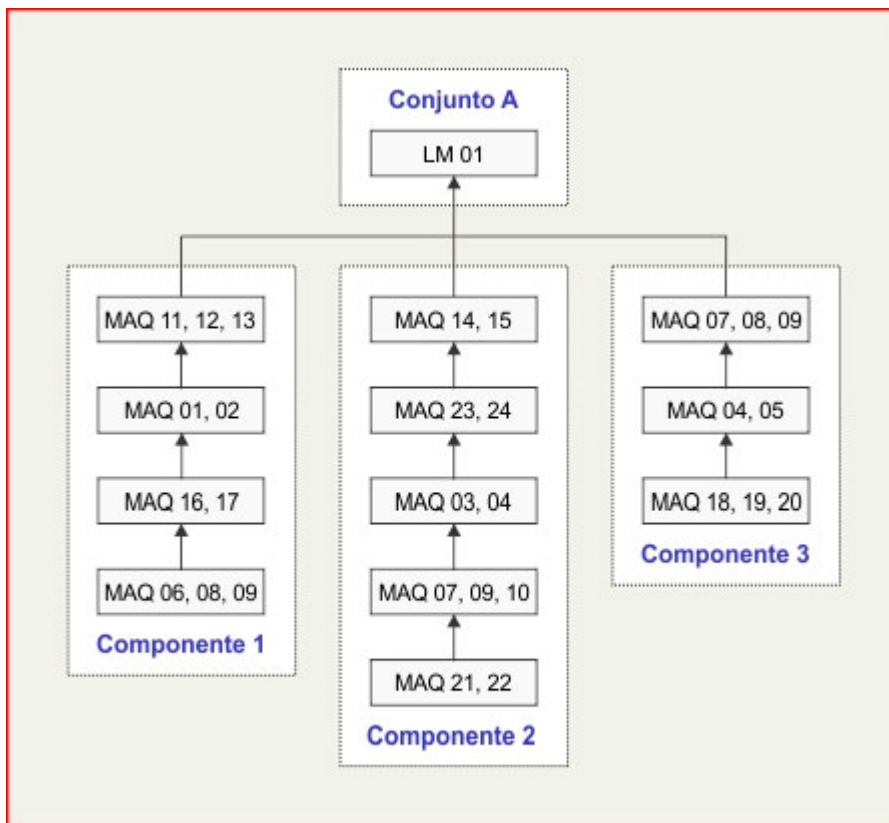


Fig. 12 – Máquinas tecnicamente viáveis para produção da barra de direção A

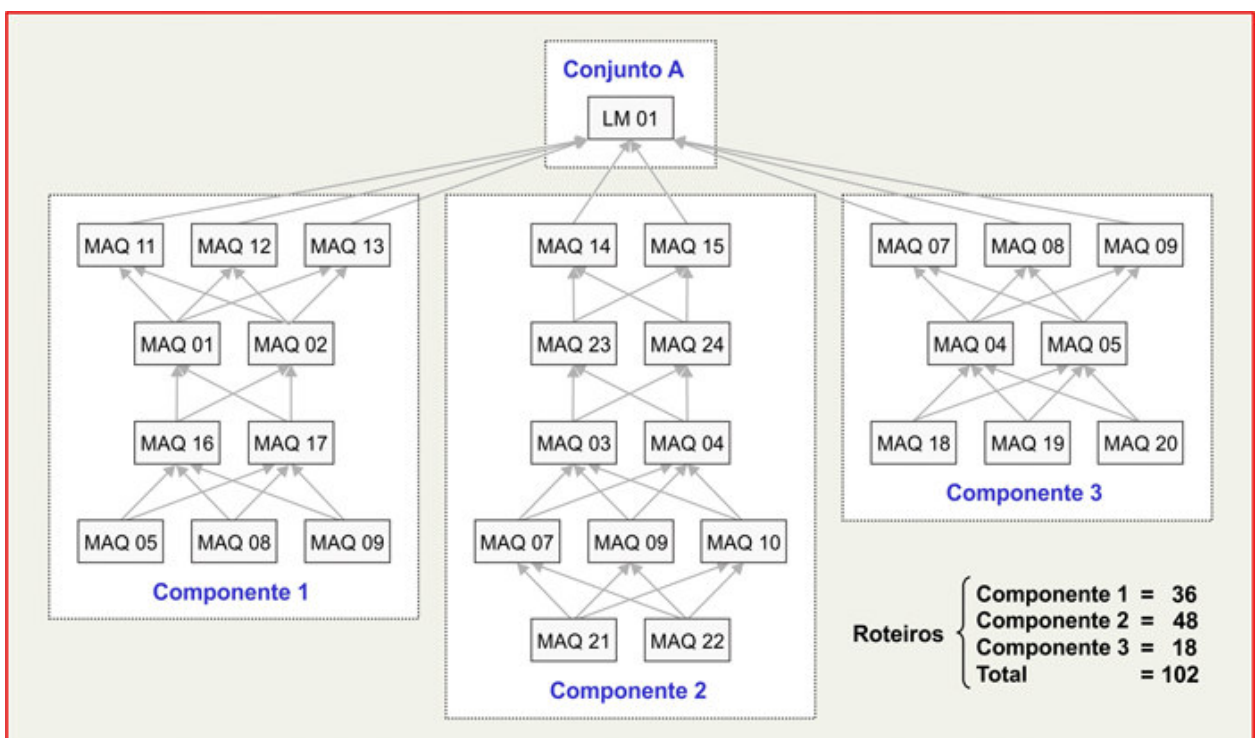


Fig. 13 – Roteiros de fabricação para produção da barra de direção A

A figura 14 mostra, para cada um dos componentes, quais são as máquinas que compõem os roteiros mais vantajosos, quer em termos de custos ou prazos de entrega.

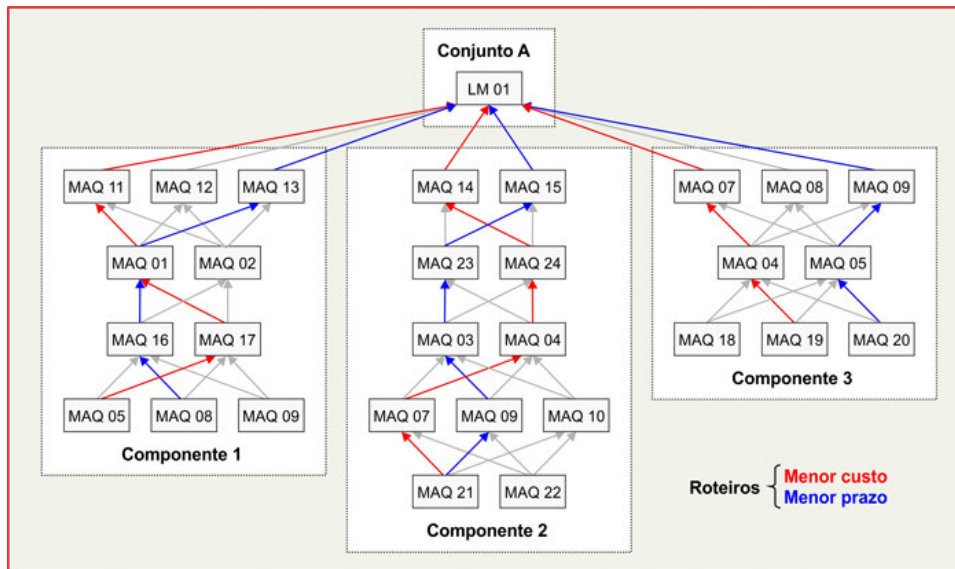


Fig. 14 – Roteiros de fabricação mais econômicos e mais rápidos

### Simulador de planejamento de alta performance

Uma vez definidas todas as necessidades dos produtos acabados e de cada um dos componentes, são as funcionalidades de um simulador específico para elaboração da carga de máquinas que permitirão interagir com uma série de parâmetros preestabelecidos pelo usuário de forma totalmente automática e programar os recursos de modo a suprir o que vem sendo solicitado, reduzindo custos e mantendo os estoques em seus níveis mais baixos possíveis.

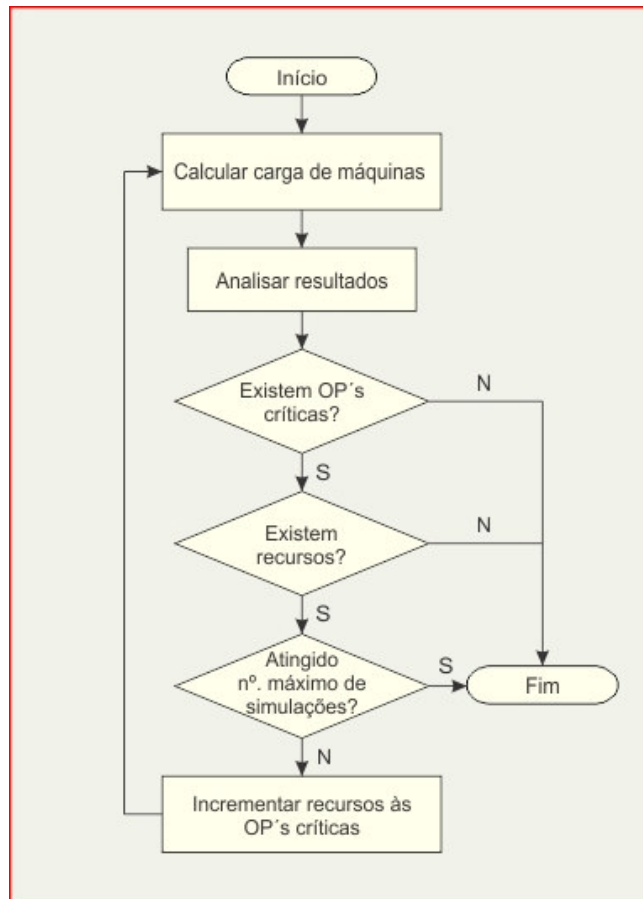


Fig. 15 – Síntese das funcionalidades do simulador

Trata-se de um *software* em que foram inseridas técnicas inovadoras, não só pertinentes à área em estudo, como também relativas ao *modus operandi* do processamento, que também possui um conjunto de funcionalidades que permite, de forma totalmente automática, analisar os resultados e identificar os pontos críticos do planejamento, incrementar recursos tão somente onde eles são necessários e recalculando a programação da carga de máquinas, iniciando assim um novo ciclo a partir da análise dos resultados, até que todas as necessidades venham a ser atendidas, que os recursos disponibilizados tenham se esgotado ou então que o número máximo de simulações tenha sido atingido, conforme ilustrado na figura 15. São expostas a seguir as principais características e funcionalidades do *software*:

- **Roteiros de processamento**

Em vez de o usuário operar o *software* e ir ditando instruções à medida que o processamento avança, o sistema vai sendo orientado e executado por uma série de procedimentos previamente definidos e de forma totalmente automática, ou seja, uma vez defronte a uma situação em que há vários caminhos a serem tomados e face às instruções armazenadas, o simulador pondera o que se apresenta e a partir daí toma uma decisão, reorientando assim o processamento. É algo que muito se assemelha ao ambiente de um “piloto automático”.

O conjunto de instruções orientativas que possibilitam executar a aplicação é o que se denomina “roteiro de processamento”. Seguem alguns dos parâmetros e instruções presentes em um roteiro de processamento:

- número de puxadas;
- intervalo em dias de cada puxada;
- adotar ou não a política de lote econômico;
- jornada diária mínima e máxima;
- incremento a ser dado à jornada;
- número mínimo e máximo de dias na semana;
- nível de simulação ou número máximo de simulações etc.

- **Número e intervalo entre puxadas**

Deve-se, ao iniciar uma simulação, definir o menor número de puxadas e associar a cada uma delas o maior intervalo em dias; isso resulta em lotes maiores associados às OP's, menor número de *set ups* e menores custos de produção. Nesse caso, porém, é maior a possibilidade de que não se atendam as necessidades do setor fabril.

Caso as necessidades não venham a ser satisfeitas, uma vez esgotados todos os demais recursos, procede-se então à redução progressiva do intervalo em dias de cada puxada e conseqüente aumento do número de puxadas. Isso resulta em lotes menores associados às OP's, maior número de *set ups* e maiores custos de produção, mas as chances de que não se atendam as necessidades do setor fabril que vem sendo otimizado são menores.

Na figura 16 encontra-se ilustrado o comportamento do que aqui acaba de ser exposto, porém ressalta-se que as inflexões das respectivas funções têm caráter didático e não necessariamente mostram-se idênticas à realidade.

- **Alternativas de produção**

O *software* simula todas as suas alternativas de produção de cada uma das OP's (ou seja, de cada operação fabril), tanto em termos de tempo como de custos, levando em

consideração, para cada uma das máquinas em estudo, as correspondentes cargas já compromissadas em OP's anteriores.

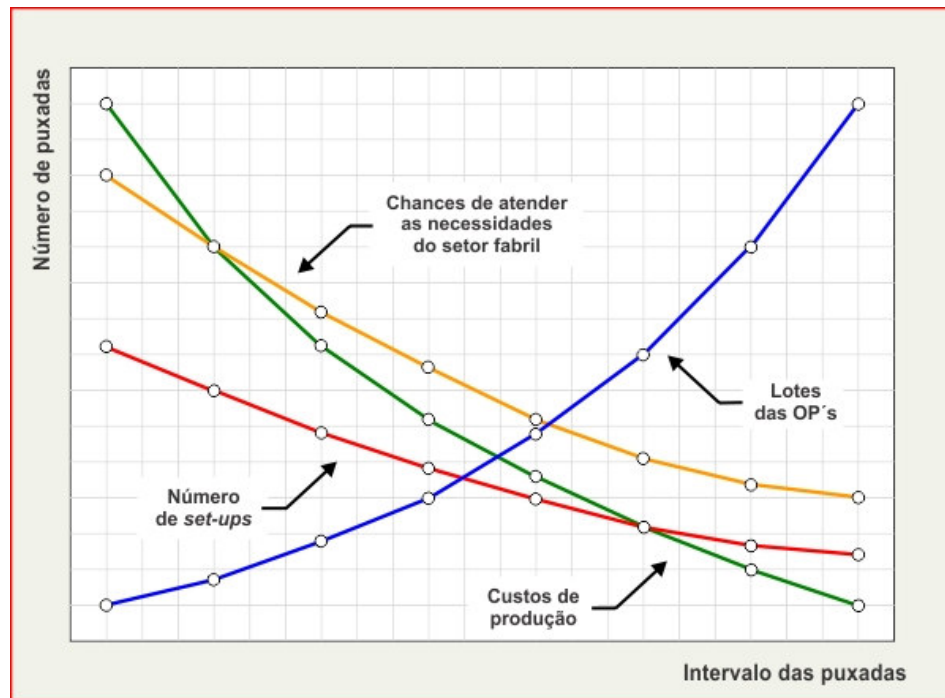


Fig. 16 – Comportamento da variação do número e intervalo das puxadas

Dependendo da diretiva adotada pelo usuário, a aplicação opta pela máquina mais rápida ou mais econômica para executar a OP.

- **Carga de máquinas**

Uma vez definido o processo fabril de cada modelo de barra de direção, é então calculado o quanto produzir de cada um dos componentes, bem como as quantidades envolvidas em cada uma de suas operações fabris. A seguir, o simulador procede à elaboração da carga de máquinas, quando cada operação fabril pode ter tantas alternativas de fabricação quantas máquinas tecnicamente viáveis existam para produzi-la; a aplicação nesse momento tem em seu roteiro de processamento a diretiva a ser tomada, seja optar pela alternativa que se apresentar mais rápida ou mais econômica.

Uma vez elaborada a carga de máquinas, seus dados são cruzados com o que cada uma das linhas de montagem necessita, sendo identificados cada um dos caminhos críticos (estes necessariamente não precisam ter folga negativa), conforme ilustrado na figura 17. Observa-se nessa figura que a cada produto acabado são associadas três linhas de informação, sendo a primeira delas pertinente ao que é requerido pela programação de entrega (clientes). A segunda das linhas retrata os resultados da programação da carga de máquinas e a terceira, os saldos entre o que é necessário e o que foi programado.



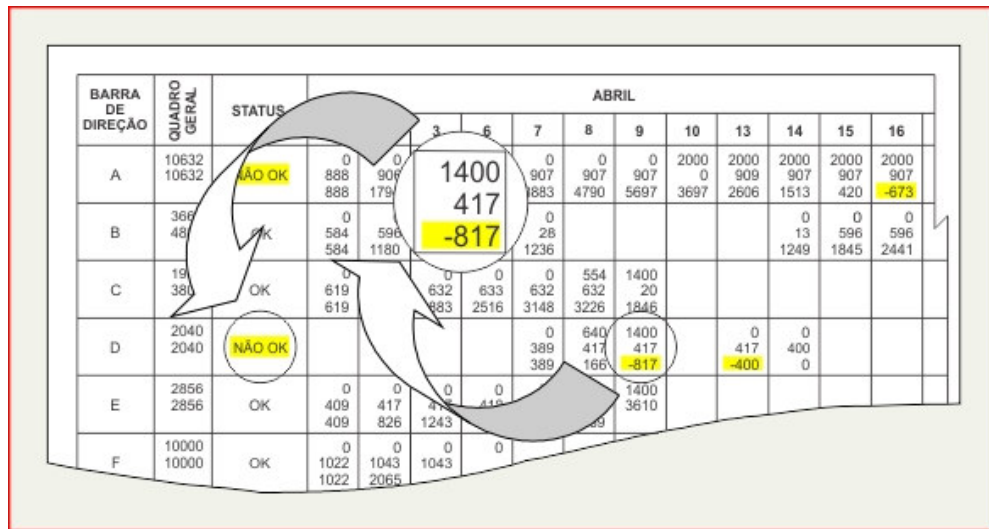


Fig. 17 – Carga das necessidades e da programação da área de acabados

Saldos negativos identificam as OP's que não atendem ao que é solicitado pelas linhas de montagem, e é nesses casos que ações devem ser tomadas, a fim de viabilizar a programação da carga de máquinas (figura 18).

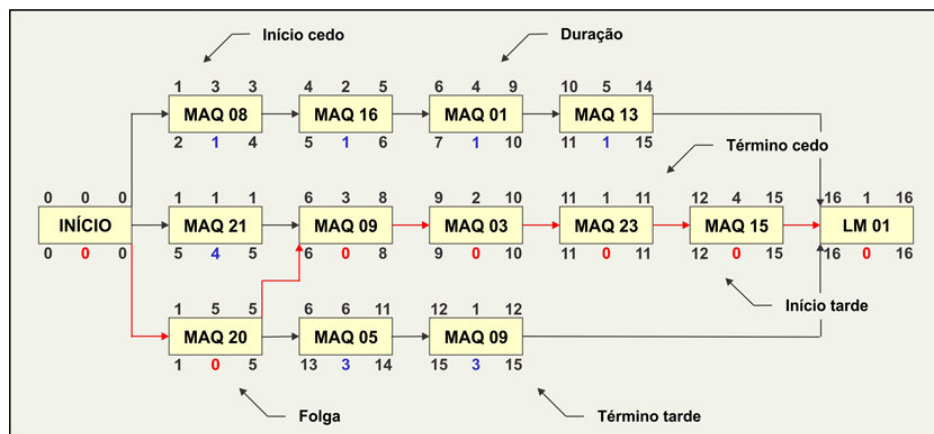


Fig. 18 – Cálculos da análise de tempo e determinação do caminho crítico

Ressalta-se que a grande vantagem da metodologia proposta é que a criticidade do item é localizada de forma pontual e não dispersa; é uma análise criteriosa, dia a dia, de forma que as ações possam vir a ser aplicadas nos itens estritamente necessários e não a um universo maior, o que oneraria de forma substancial os custos de produção.

A abordagem do exemplo teve continuidade até a emissão dos primeiros resultados do simulador, quando foi constatado o não atendimento do que era requerido pelo cliente com relação ao conjunto em estudo. Com base nesse desvio, são identificadas as OP's que participam da referida situação, evidenciando as causadoras do caminho crítico, sobre as quais devem ser tomadas ações, conforme esquematizado na figura 19.

- **Níveis de ação**

Detectados estes itens, são então disponibilizados vários níveis diferentes de ação, objetivando eliminar a criticidade de cada um deles. Estes níveis estão agrupados em três classes distintas; a primeira delas visa incrementar os recursos mais econômicos, a segunda enfoca os recursos que dão maior agilidade à programação (mais rápidos) e a terceira dá

preferência aos recursos que sejam simultaneamente mais econômicos e mais rápidos.

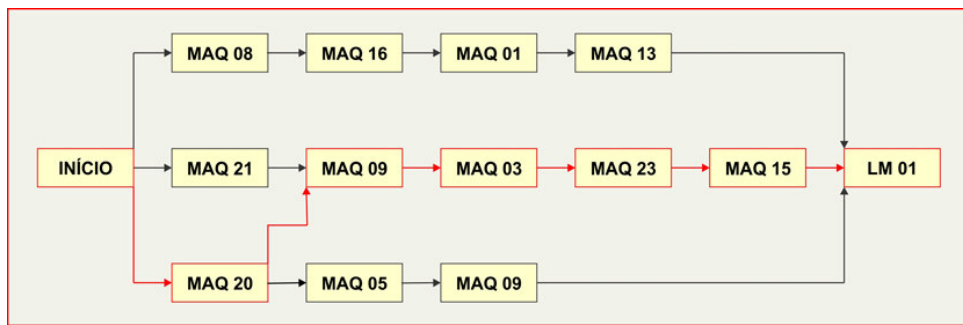


Fig. 19 – Determinação do caminho crítico da barra de direção A

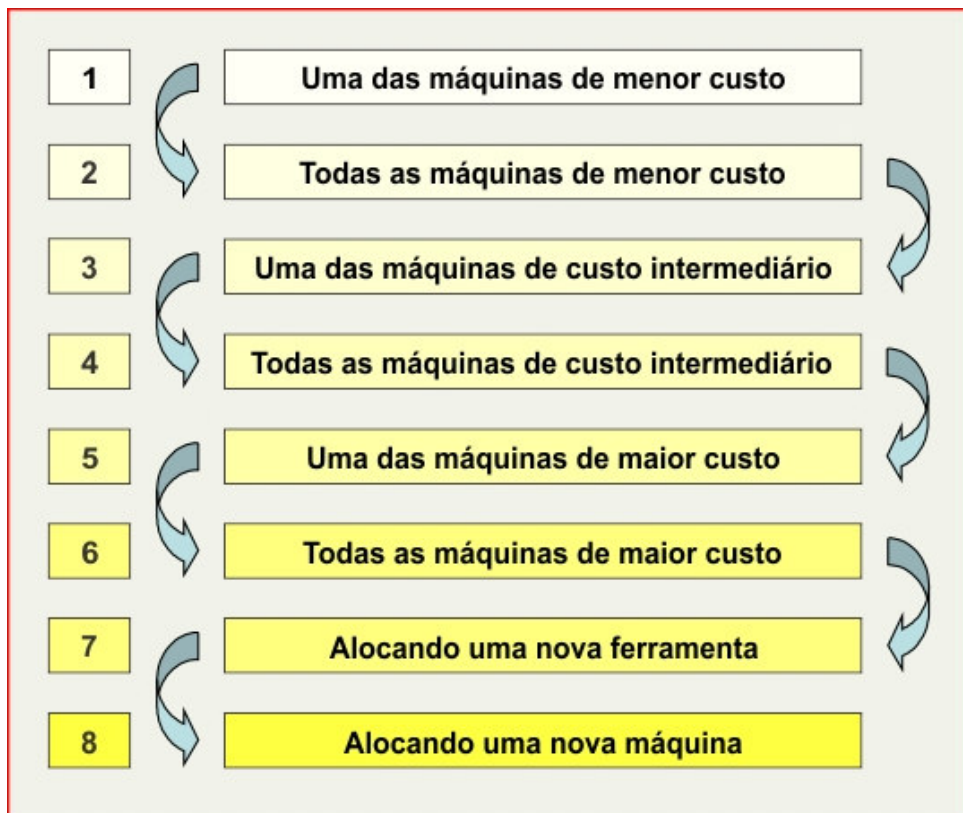


Fig. 20 – Níveis de ação sobre as OP's do caminho crítico, levando em consideração os custos

A cada classe encontram-se associados oito níveis diferentes de ações, conforme esquematizado na figura 20 (optou-se, no caso, pela primeira delas), havendo incrementos de mais horas ao dia e/ou mais dias na semana, tendo em vista viabilizar a carga de máquinas. Note-se que ao roteiro de processamento já se encontra associado um dos possíveis níveis de ação:

- nível 1 – as ações ocorrem nas OP's do caminho crítico associadas a uma das máquinas de menor custo;
- nível 2 – as ações ocorrem nas OP's do caminho crítico associadas a todas as máquinas de menor custo;
- nível 3 – as ações ocorrem nas OP's do caminho crítico associadas a uma das máquinas de custo intermediário;



- nível 4 – as ações ocorrem nas OP's do caminho crítico associadas a todas as máquinas de custo intermediário;
- nível 5 – as ações ocorrem nas OP's do caminho crítico associadas a uma das máquinas de maior custo;
- nível 6 – as ações ocorrem nas OP's do caminho crítico associadas a todas as máquinas de maior custo;
- nível 7 – caso o caminho crítico persista após simulações nos seis níveis anteriores e desde que o usuário tenha antecipadamente autorizado, o simulador investiga a existência de ferramentas que possam vir a ser incorporadas ao estudo e, encontrando-as, gera automaticamente novas ordens de produção com os excedentes não atendidos;
- nível 8 – persistindo a criticidade do caminho após simulações nos sete níveis anteriores, o simulador investiga a existência de outras máquinas ou parte em busca da alocação de serviços de terceiros, de forma a atender ao que vem sendo solicitado pelas linhas de montagem.

- **Amplitude das simulações dentro de uma ação**

O simulador permite incrementar mais dias na semana em um primeiro passo e posteriormente incrementar horas ao dia, uma vez fixado o número de dias da semana, ou então o inverso, primeiramente incrementar mais horas ao dia e depois incrementar dias na semana, uma vez fixado o número de horas no dia; na figura 21 encontra-se ilustrada a primeira situação.

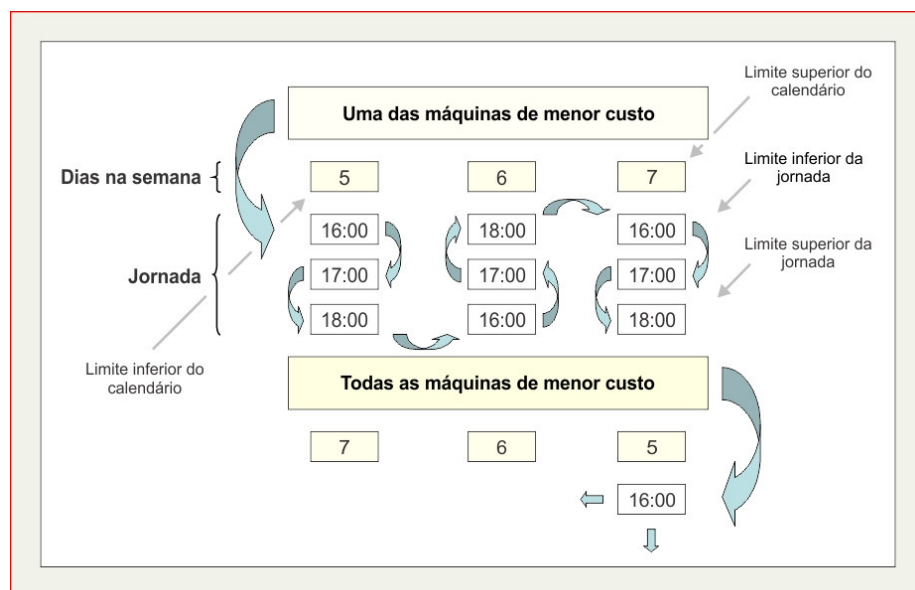


Fig. 21 – Amplitude das simulações dentro de uma ação

- **Seqüência de injeção de recursos nas OP's do caminho crítico**

Sendo constatada a necessidade de incrementar recursos às OP's críticas, esta adição é realizada de forma gradativa e em doses homeopáticas, até que os objetivos sejam atingidos ou que se esgotem todos os recursos disponibilizados; isto garante que, no momento em que foram atendidos os itens requeridos pela programação de entrega, os insumos consumidos foram os estritamente necessários, resultando na solução mais econômica possível.

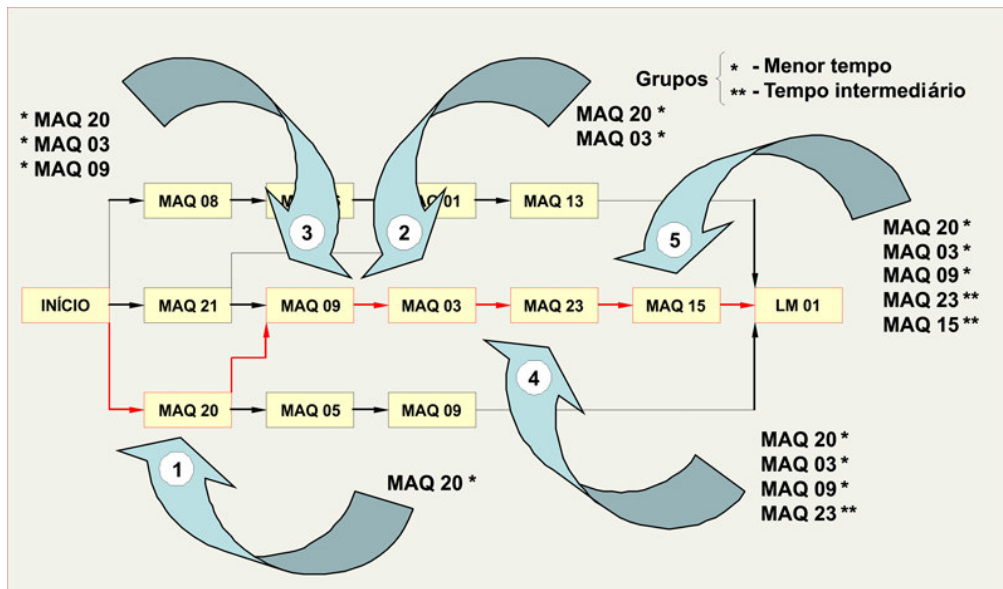


Fig. 22 – Sequência de injeção de recursos nas OP's do caminho crítico

A figura 22 ilustra a sequência em que os recursos foram incrementados às ordens de produção críticas do conjunto em estudo:

1º.) Adicionadas horas extras (duas ao dia) e dois dias adicionais na semana à ordem de produção da MAQ 03; esgotaram-se os recursos e não se conseguiu atender ao que era requerido pela programação de entrega. Esta máquina é a que tem o menor custo operacional do caminho crítico;

2º.) Injetados recursos às ordens de produção das máquinas MAQ 03 e MAQ 09, não logrando sucesso; estas duas máquinas são do grupo de menor custo operacional;

3º.) Injetados recursos às OP's das máquinas MAQ 03, MAQ 09 e MAQ 23, novamente não obtendo retorno satisfatório; a máquina MAQ 23 é a que tem menor custo dentro do grupo intermediário;

4º.) Injetados recursos às OP's das máquinas MAQ 03, MAQ 09, MAQ 23 e MAQ 15, conseguindo nesta situação atender ao que era requerido pela programação de entrega, conforme ilustrado na figura 23; estas duas últimas máquinas pertencem ao grupo de custo intermediário.

BARRA DE DIREÇÃO	QUADRO GERAL	STATUS	ABR																
			1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17		
A	10632	OK	0	0	132	0	500	0	0	0	2000	0	2000	2000	2000	2000	0		
	10632		868	886	887	887	887	868	887	886	887	887	887	887	887	887	0		
B	3664	OK	0	0	864	0	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	4800		571	583	582	0	583	582	583	582	583	582	0	583	151	0			
C	1954	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	3800		605	618	618	0	618	618	0	618	0	0	0	0	0	0			
D	2040	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	2040		400	407	408	0	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	0		
E	2856	OK	0	0	0	0	0	58	1400	1400	0	0	0	0	0	0			
	2856		400	408	408	407	408	408	408	408	408	9	0	0	0	0			
F	10000	OK	999	1020	1020	0	1020	1020	1019	1020	2000	0	2000	2000	2000	2000			
	10000		999	2019	3039	0	4059	5079	6098	7118	5118	0	4138	3158	2000	842	0		
G	8160	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	8160		666	680	680	0	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680		
	10000	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	10000		999	1020	1020	0	1020	1020	1019	1020	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000		

Fig. 23 – Carga das necessidades e da programação da área de acabados

## **Versatilidade**

Podem ocorrer situações em que os incrementos dos recursos apontados não são suficientes para atender às necessidades da programação de entrega; nesses casos, o simulador permite criar cenários em que são geradas as reservas de estoques necessárias, a fim de tornar viável a carga normal das máquinas.

Uma perfeita carga de máquinas será possível desde que o universo pesquisado não se restrinja somente às máquinas e ferramentas. Todo e qualquer recurso dito secundário deve ser considerado na elaboração da programação; limitações no uso de pontes rolantes para troca de ferramentas, equipamentos auxiliares para trato dos materiais e eventuais acessórios especiais usados na preparação de máquinas ou na produção não podem ser colocados em segundo plano.

## **Referências bibliográficas**

Metodologia, algoritmos e simulador são desenvolvimentos próprios dos autores do trabalho e encontram-se registrados junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) sob no. 96.000.339.

## **Conclusão**

Embora tenham sido utilizadas algumas técnicas de domínio público, quer tanto na área em que é objeto do *software*, como também na área da tecnologia da informação, ressalta-se que o trabalho desenvolvido é inovador sob os mais diferentes ângulos, quer em termos de metodologias, quer em termos de concepção de desenvolvimento, quer em termos de operacionalidade, etc..

Sucintamente, sabe-se qual é o destino, existem recursos para lá chegar, muitos caminhos se oferecem, porém cabe ao *software* analisar cada um deles e optar pelo melhor que se apresentar.

Tudo leva a crer que seja o *top* de uma nova geração de aplicativos, porém na verdade é o começo de algo mais grandioso que ainda está por vir.

## **Currículo resumido**

### **Pedro Paulo Lanetzki**

Graduado em Engenharia de Produção pela FEI em 1970.

Grande parte de sua vida profissional dedicada à General Motors do Brasil, onde teve oportunidade de atuar no planejamento, programação e controle de vários projetos, nas mais diferentes áreas da empresa.

Participação efetiva no setor de tecnologia de informação, colaborando na implantação dos primeiros micros na manufatura e auxiliando no desenvolvimento de aplicações.

É um dos fundadores da Netz Soluções Industriais, empresa de informática, especializada no desenvolvimento de *softwares*, destinados ao gerenciamento do chão de fábrica, com ênfase na criação de simuladores, com atuações nas mais diferentes segmentações da indústria.

### **Luana Lanetzki**

Graduada em Ciências da Computação pela USCS em 2004, com especialização em Automação e Robótica.

Passagem em várias empresas com ênfase na área de tecnologia da informação.

É também uma das fundadoras da Netz Soluções Industriais.

### **Contatos**

Avenida Goiás, 2820 – cj. 12  
São Caetano do Sul – SP - Brasil  
CEP 09550-051  
Telefone: (11) 4227-5847 / (11) 4226-3782  
[pedro.lanetzki@gmail.com](mailto:pedro.lanetzki@gmail.com)  
[luana.lanetzki@hotmail.com](mailto:luana.lanetzki@hotmail.com)