

PLANEJAMENTO DE PROCESSOS BASEADO EM RESTRIÇÕES

Dalberto D. da Costa

Departamento de Engenharia Mecânica - UFPR - Curitiba - Paraná

E-mail dalberto@demec.ufpr.br

***Resumo.** O planejamento de processos auxiliado por computador tem sido caracterizado nos últimos anos como sendo o elo faltante para a completa integração das atividades de projeto e manufatura. O planejamento automático (ou completamente generativo), entretanto, ainda não foi alcançado. Diversas razões têm sido levantadas como justificativas à dificuldade dessa automação. Entre elas vale citar a natureza heurística contida nas tomadas de decisões presentes no ato de planejar. Neste trabalho apresenta-se uma metodologia baseada, parcialmente, na representação desse conhecimento heurístico através de restrições. O conceito de restrições é entendido como sendo limitações impostas ao processista num determinado instante dentro de um chão-de-fábrica conhecido. Além disso, as restrições atuarão como um meio de comunicação entre as diferentes etapas do planejamento. A representação das restrições é feita através de modelos analíticos, uma base de dados contendo os recursos disponíveis no momento e, principalmente, por meio de relações qualitativas causais. Uma máquina de inferência projetada com algoritmos generalistas promove uma rede de restrições que pode ser estendida aos diferentes níveis (etapas) do plano a ser elaborado. Essa rede possibilita ao sistema determinar a restrição mais importante num dado instante e escolher valores para as variáveis do processo de tal forma que ela possa ser relaxada sem provocar grandes alterações (violação) das demais. A presente metodologia permitiu desenvolver e implementar um modelo computacional de caráter geral (shell).*

***Palavras-chave:** Planejamento de processos, Sistemas especialistas, Usinagem*

1. INTRODUÇÃO

A importância do planejamento de processos no contexto da manufatura integrada por computador reside na dificuldade de tornar real o projeto de um produto. Dificuldades que se originam na complexidade das representações — forma e requisitos tecnológicos dos produtos e na disponibilidade e capacidade dos recursos de fabricação.

A partir do desenho do produto (representação em papel ou digital) é estabelecido um plano para fabricação do mesmo. Entretanto, a representação inicial não é garantia de que o produto possa ser fabricado. Os recursos disponíveis aliados ao padrão de qualidade previamente estabelecido impõem restrições, em alguns casos intransponíveis ou, na maioria das vezes contornáveis a um custo cujo valor é sempre superior a zero.

Em outras palavras: não existe fabricação sem restrições.

Neste trabalho propõe-se que as restrições possam ser usadas como base para o planejamento de processos. Portanto, o escopo deste trabalho está delimitado pela apresentação do conceito de restrições, tendo como pano de fundo o cenário da manufatura integrada por computador, e à formalização do mesmo em termos computacionais.

2 - APRESENTAÇÃO DO CONCEITO DE RESTRIÇÕES

Restrições, ou mais precisamente, *satisfação de restrições* vem se constituindo num novo paradigma dentro da ciência da computação. Esse conceito é oriundo da observação do comportamento de humanos na solução de problemas cotidianos. Problemas cuja solução não necessariamente deva ser ótima, mas, obrigatoriamente, que uma ou mais restrições não sejam violadas.

Diversos autores, entre eles Sussaman e Steele (1980); Stefik(1981) e Davis (1987), interpretaram o conceito de restrições como sendo:

- i) relações entre variáveis de um plano;
- ii) redução de domínio;
- iii) meio de comunicação;

De acordo Sussaman e Steele (1980) um sistema pode ser representado por um conjunto de relações físicas entre suas variáveis. A esse conjunto dá-se o nome de *rede de restrições*. Essas restrições são expressas na forma de equações ou inequações, sendo que cada variável representa um nó nessa suposta rede. Uma vez que o valor de uma dada variável é fixado, ele é propagado por toda a rede. Dessa forma estabelece-se um *meio de comunicação* (Stefik 1981) entre todas as variáveis do sistema.

Em alguns casos a propagação de restrições (ou de valores) não garante a solução completa de um dado problema. Restrições na forma de inequações, por exemplo, permitem apenas uma *redução de domínio*, como observado por Davis (1987), resultando na redução do *espaço-problema*.

No planejamento de processos para manufatura, observa-se, de modo intuitivo, que o conceito de restrições pode ser aplicado. Entretanto, como observado por Elmaraghy (1993), a falta de uma base científica suficientemente robusta torna a problemática do planejamento de processos difícil de ser modelada.

De fato, a ausência de modelos matemáticos (principalmente na forma de equações) não permite a construção de uma rede de restrições como visto anteriormente. A principal contribuição deste trabalho reside na apresentação de uma proposta para contornar este problema através de uma modelagem híbrida: **quantitativa** (equações e inequações) e **qualitativa** (relações causais entre as variáveis de um processo).

Inicialmente, propõe-se que as restrições presentes num dado processo sejam classificadas em:

- i) restrições de recursos
- ii) restrições estruturais;
- iii) restrições operacionais;
- iv) restrições funcionais.

Essa classificação está representada na figura 1, a partir da qual pode-se visualizar que um dado processo é limitado (restringido), primeiramente pelos recursos disponíveis. Esses recursos são considerados aqui como sendo aqueles disponíveis num determinado instante de um chão-de-fábrica particular.

As restrições estruturais são relações de “montagem” entre variáveis chamadas estruturais. Essas variáveis são representações de grandezas físicas que podem ser escolhidas e alteradas num dado processo. Essas restrições são decorrentes, em parte dos recursos disponíveis; mas, principalmente pela dificuldade, de um determinado processo ser planejado

com todas as combinações possíveis entre todos os valores dessas variáveis. Por exemplo: o tipo de porta ferramenta disponível limita algumas dimensões e formas dos insertos intercambiáveis que podem ser escolhidos; a velocidade de corte, nos processos de torneamento está limitada pela rotação máxima no torno e pelo diâmetro a ser torneado.

As restrições operacionais implicam num dado *comportamento* do processo que o impossibilita, ou na maioria dos casos, descaracteriza-o como tal. Como exemplo pode-se citar: os esforços de corte; a potência consumida; a forma do cavaco; a vida da ferramenta; a taxa de remoção e o tempo de corte em processos de usinagem; o insumo de calor em processos de soldagem; entre outros.

Restrições funcionais são restrições impostas pela função a ser desempenhada pelo processo sob o ponto de vista da qualidade do produto e da produtividade. Neste contexto, considera-se que um processo de fabricação é meio e não um fim. Portanto, entendido como sendo o emprego de recursos para fabricar um produto na qualidade especificada, no menor tempo e custo possíveis.

A análise do comportamento de diferentes processos permite qualificar aqueles que atendem às exigências do produto a ser fabricado. Porém, somente um entre eles “funciona” de maneira econômica. Alguns autores (por exemplo Armarego (1993)) têm tratado o custo e o tempo de fabricação e até mesmo o lucro (ver Hitomi 1991) como objetivos¹ e não como restrições.

Neste trabalho, mantém-se o conceito de restrições por entender que o processo de fabricação é apenas uma fração do custo global de manufatura de um produto. Em alguns casos, essa fração é pequena e sua alteração comparada às outras não é muito significativa.

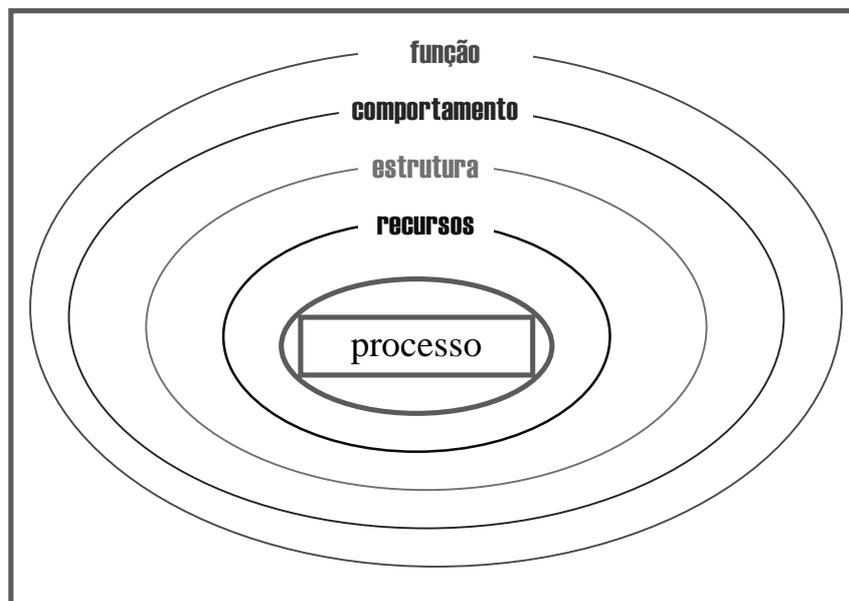


Figura 1 - Tipos de restrições encontrados no planejamento de processos

¹ O termo utilizado é função objetivo, sendo que nesse caso, o problema passa ser determinar valores às variáveis estruturais para maximizar a produção e minimizar o custo.

3. FORMALIZAÇÃO DO CONCEITO DE RESTRIÇÕES

A representação computacional de um processo através de uma rede de restrições é possível *se, e somente se*, a seguinte hipótese for validada:

[H1] → um processo de fabricação pode ser representado por um conjunto de variáveis estruturais.

Seja:

$\mathbf{P} = \{\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n\}$ o conjunto finito de variáveis estruturais de um processo de fabricação com domínio $\mathbf{A} = \{\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_n\}$, onde \mathbf{a}_i define o conjunto de valores que cada variável (\mathbf{x}_i) pode assumir. Em outras palavras, \mathbf{P} representa a *estrutura* de certo processo.

Associado a esse conjunto existe um outro que especifica seu comportamento. Seja:

$\mathbf{E} = \{\mathbf{y}_1, \dots, \mathbf{y}_m\}$ o conjunto finito das variáveis usadas para especificar o comportamento de um dado processo, cujo domínio é o conjunto dos números reais.

Um terceiro conjunto contendo variáveis funcionais define a função (ou o desempenho) do processo. Esse conjunto finito será representado por $\mathbf{F} = \{\mathbf{z}_1, \dots, \mathbf{z}_m\}$ cujos valores são intervalos com domínios em \mathfrak{R} .

Se para um dado processo **H1** se mantém, então as restrições de recursos podem ser representadas a partir de uma lista (base de dados) contendo os recursos disponíveis no momento, ou seja, os valores das variáveis estruturais de acordo com as circunstâncias presentes.

Por conseguinte, as variáveis estruturais de um dado processo, dentro de um chão-de-fábrica específico, terão domínio definido por $\mathbf{B}(\mathbf{t}) = \{\mathbf{b}(\mathbf{t})_1, \dots, \mathbf{b}(\mathbf{t})_n\}$, onde $\mathbf{b}(\mathbf{t})_i$ define o conjunto de valores que cada variável (\mathbf{x}_i) pode assumir, num certo instante de tempo (\mathbf{t}).

\mathbf{x}_i pode ser do tipo ordinal ou lingüístico.

Se \mathbf{x}_i for ordinal, então seu domínio (\mathbf{a}_i) pode ser:

discreto: um intervalo representado por

$(\mathbf{a}_i (\text{res}\% \text{ disp_min}\% \text{ disp_max}\%))$

lista de valores: representada por $(\mathbf{a}_i (\text{lst}\%))$

Caso contrário, \mathbf{x}_i lingüístico, então \mathbf{a}_i pode ser:

uma lista de valores qualitativos: $(\mathbf{a}_i (\text{val_disp}\$))$

onde:

$\text{disp_min}\%$ e $\text{disp_max}\%$ são os valores quantitativos mínimo e máximo disponíveis em (\mathbf{t});

$\text{res}\%$ é a resolução da escala de medição de \mathbf{a}_i ;

$\text{lst}\%$ é uma lista de valores quantitativos;

$\text{val_disp}\$$ é uma lista de valores qualitativos.

As restrições estruturais são compostas pelo conjunto de relações quantitativas — representadas na forma de equações e inequações — entre variáveis estruturais, por exemplo:

$$\mathbf{X}_1 \leq \mathbf{X}_5 + \mathbf{X}_3 \quad (1)$$

onde:

\mathbf{X}_1 , \mathbf{X}_3 e \mathbf{X}_5 são variáveis estruturais. Entre elas, entretanto, não existe relação causal (no sentido físico); i.e, se os valores de \mathbf{X}_3 e \mathbf{X}_5 forem alterados não implica que o valor de \mathbf{X}_1 seja “automaticamente” alterado. Implica sim que o valor de \mathbf{X}_1 deve ser redimensionado para satisfazer a restrição (1).

As restrições operacionais (ou de comportamento) são relações quantitativas e (ou) qualitativas entre variáveis de comportamento e variáveis estruturais. A condição fundamental para que tais restrições existam é a presença de uma relação causal entre tais variáveis.

Se quantitativas, elas podem ser inequações ou equações entre as variáveis de **E** e **P** e todas suas soluções algébricas.

Todas essas restrições devem estar contidas numa base. Isto se constitui numa representação redundante do problema, pois a solução algébrica de equações e inequações está além do escopo deste trabalho. Todas as constantes ou coeficientes que porventura existam nessas restrições devem ser, quantitativamente, declarados.

Se qualitativas, as restrições serão representadas da seguinte forma:

$$x_i \text{ (aumenta)} \Rightarrow y_j \text{ (aumenta)} \quad (2)$$

ou

$$x_i \text{ (aumenta)} \Rightarrow y_j \text{ (diminui)} \quad (3)$$

As relações 2 e 3 são interpretações de equações diferenciais qualitativas ou *confluências*, segundo De Kleer e Brown (1984). As relações 2 e 3 são similares, respectivamente a:

$$\partial x_i - \partial y_j = 0 \text{ e } \partial x_i + \partial y_j = 0.$$

As relações qualitativas são modelos da *direcionalidade* da influência de uma variável estrutural sobre uma de comportamento. Essas relações são *unidirecionais*, ou seja: $y_j \text{ (aumenta)} \Rightarrow x_i \text{ (aumenta)}$ não existe.

Esses modelos expressam uma relação de dependência causal entre uma variável exógena (x_i) e outra endógena (y_j), conforme definição de Iwasaki e Simon (1986). Relações do tipo:

$y_j \text{ (aumenta)} \Rightarrow y_j \text{ (aumenta)}$ e $x_i \text{ (aumenta)} \Rightarrow x_i \text{ (aumenta)}$ não existem.

Em princípio, as restrições funcionais podem ser representadas de maneira similar às restrições operacionais, i.e., através de relações qualitativas e quantitativas. Porém as relações (quantitativas ou qualitativas) devem ser apenas entre as variáveis de **F** e **E**. Relações entre **F** e **P** são desnecessárias pois podem ser facilmente obtidas através de substituições.

4. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

Planejamento baseado em restrições é parte de um algoritmo utilizado na construção de um Sistema Especialista para planejamento de processos. No presente estágio de implementação, considera-se o usuário em duas situações distintas. Primeiramente ele é um especialista (humano) em um certo processo de fabricação. Nesse momento ele deve formalizar seu conhecimento valendo-se de protocolos (interfaces) para tal. Essas interfaces são baseadas na suposição de validade da hipótese **H1**. O conhecimento a ser transmitido será armazenado na forma de dados (recursos disponíveis), restrições e da experiência² passada desse especialista.

Após essa etapa, o sistema estará pronto para o usuário final. Esse usuário, hipoteticamente, pode ser uma pessoa ou um outro sistema encarregado do planejamento completo.

Dessa forma o presente estágio de implementação se constitui num modelo computacional de caráter geral (*shell*) que pode ser utilizado para modelar processos de fabricação em ambientes (empresas) específicas.

Após o preenchimento desse *shell* o processamento das restrições é realizado da seguinte maneira máquina (ver figura 2).

² A experiência é representada na forma de casos (planos de processos) já solucionados com sucesso (ver Coppini e Da Costa 1996)

De um modo geral, uma máquina de inferência é considerada como um grupo de algoritmos projetado para executar, além dos raciocínios necessários à produção de soluções, tarefas tais como: o gerenciamento de interfaces e a geração de explicações. Neste trabalho será tratado apenas o problema da condução de raciocínios.

Basicamente, a máquina de inferência atua da seguinte maneira:

seja:

$V_{\text{ndef}} = \{P \cup E\} = \{w_1, \dots, w_z\}$ uma lista contendo todas as variáveis declaradas para um certo processo;

$V_{\text{def}} = \{\}$ uma lista a ser usada para armazenar as variáveis cujos valores estiverem escolhidos;

$f = \{\text{@disp_real\#; @vlr_calc\%; @vlr_fix\%; @vlr_ref\%; @vlr_qual\$; @vlr_heu\%}\}$ um conjunto de funções³ conhecidas, onde:

@disp_real# é uma função usada para propagar restrições de recurso (recursos disponíveis no momento);

@vlr_calc% propaga restrições quantitativas (equações ou inequações);

@vlr_fix% permite a um usuário (humano ou não) fixar valores às variáveis (geralmente para as variáveis funcionais);

@vlr_ref% função que recupera na base de **CASOS** um plano usado para resolver um problema similar ao formulado (não será discutido neste trabalho, para maiores informações, ver Coppini e Da Costa 1996);

@vlr_qual\\$ analisa, qualitativamente, o plano recuperado e determina as restrições violadas ou que, provavelmente, poderão ser violadas. Indica direções para mudanças através da propagação de restrições qualitativas;

@vlr_heu% realiza as mudanças sugeridas (caso necessário) aplicando heurísticas ao plano recuperado (não será discutido neste trabalho);

$L = \{l_1, \dots, l_z\}$ um conjunto de listas, tal que:

$l_i = \{w_i \text{ disp_real\#; vlr_calc\%; vlr_fix\%; vlr_ref\%; vlr_qual\$; vlr_heu\%}\}$, sendo, a i -ésima lista associada com a i -ésima variável de V_{ndef} e os valores resultantes (direta ou indiretamente) da aplicação de cada uma das funções definidas em f .

Então:

i) inicia cada uma das variáveis de V_{ndef} com um conjunto vazio (ou um símbolo qualquer que não denote quantidade), tal que, inicialmente, $[w_i] = \emptyset$ para $i = 1$ até z ;

ii) inicia cada um dos valores de l_i associados a w_i com conjunto vazio (ou um símbolo qualquer que não denote quantidade),

tal que, $[vlr_fix\% (w_i)]$ retorna o valor da i -ésima variável, resultante da aplicação da função **@vlr_fix%**, inicialmente, $[vlr_fix\% (w_i)]$ será igual a $\{\}$;

iii) aplique cada uma das funções de f sobre V_{ndef} até que todos os valores de suas variáveis sejam escolhidos. Retire w_i de V_{ndef} assim que seu valor for escolhido e coloque-a em V_{def} .

A aplicação de f sobre V_{ndef} (ou seja a inferência propriamente dita) compreende as seguintes etapas:

i) aplica-se a primeira função $f = \{\text{@disp_real\#}\}$ sobre todos seus elementos. Esta função deve retornar um valor, uma lista de valores ou um intervalo. Se essa função retornar um valor exato para uma variável, então ela é retirada de V_{ndef} e colocada em V_{def} (lista de variáveis já definidas).

ii) aplica-se a função **@vlr_calc%** sobre V_{ndef} . As variáveis que puderem ser calculadas, ou seja, que estiverem relacionadas funcionalmente com outras, cujos

³O termo função se refere, aqui, ao contexto computacional, ou seja, a uma rotina usada para determinar um valor e não ao contexto matemático.

valores foram definidos na etapa anterior, serão determinadas. Durante essa etapa, se alguma variável foi determinada, ela será retirada de V_{ndef} e colocada em V_{def} e $@vlr_calc%$ será novamente aplicada sobre V_{ndef} até que nenhuma variável possa ser mais calculada.

- iii) aplica-se a função $@vlr_fix%$ sobre V_{ndef} , o usuário (humano ou outro programa) poderá arbitrar valores às variáveis ainda não definidas. Entretanto, esse arbítrio estará limitado pelo domínio fornecido por $@disp_real\#$;
- iv) Caso V_{ndef} seja diferente de vazio, novamente aplica-se a função $@vlr_calc%$ sobre ela, procedendo de forma semelhante à etapa (ii);
- v) $@vlr_ref%$ será aplicada para recuperar um plano similar tendo como sonda V_{def} ;
- vi) Se o plano recuperado não atende às restrições impostas ele deve ser refinado, ou seja, as variáveis estruturais devem ser alteradas para que as restrições sejam relaxadas. $@vlr_qual\$$ será aplicada para prever a direção de alteração (aumentar ou diminuir) sobre as variáveis estruturais;
- vii) Se direções favoráveis forem determinadas, então aplica-se $@vlr_heu%$ para determinar os novos valores;
- viii) O sistema reporta os valores escolhidos e apresenta um prognóstico do desempenho do processo a ser executado.

A função $@disp_real\#$ executa as restrições de recursos. Estas restrições são obtidas a partir da leitura de uma base que contém os domínios (valores disponíveis no momento) de todas as variáveis estruturais. Esta base pode ser obtida através de um sistema MRP. No presente estágio de implementação, faz-se uma simulação dessa base a partir de valores fornecidos pelo usuário durante o processo de inferência. O sistema pergunta ao usuário quais valores estão disponíveis.

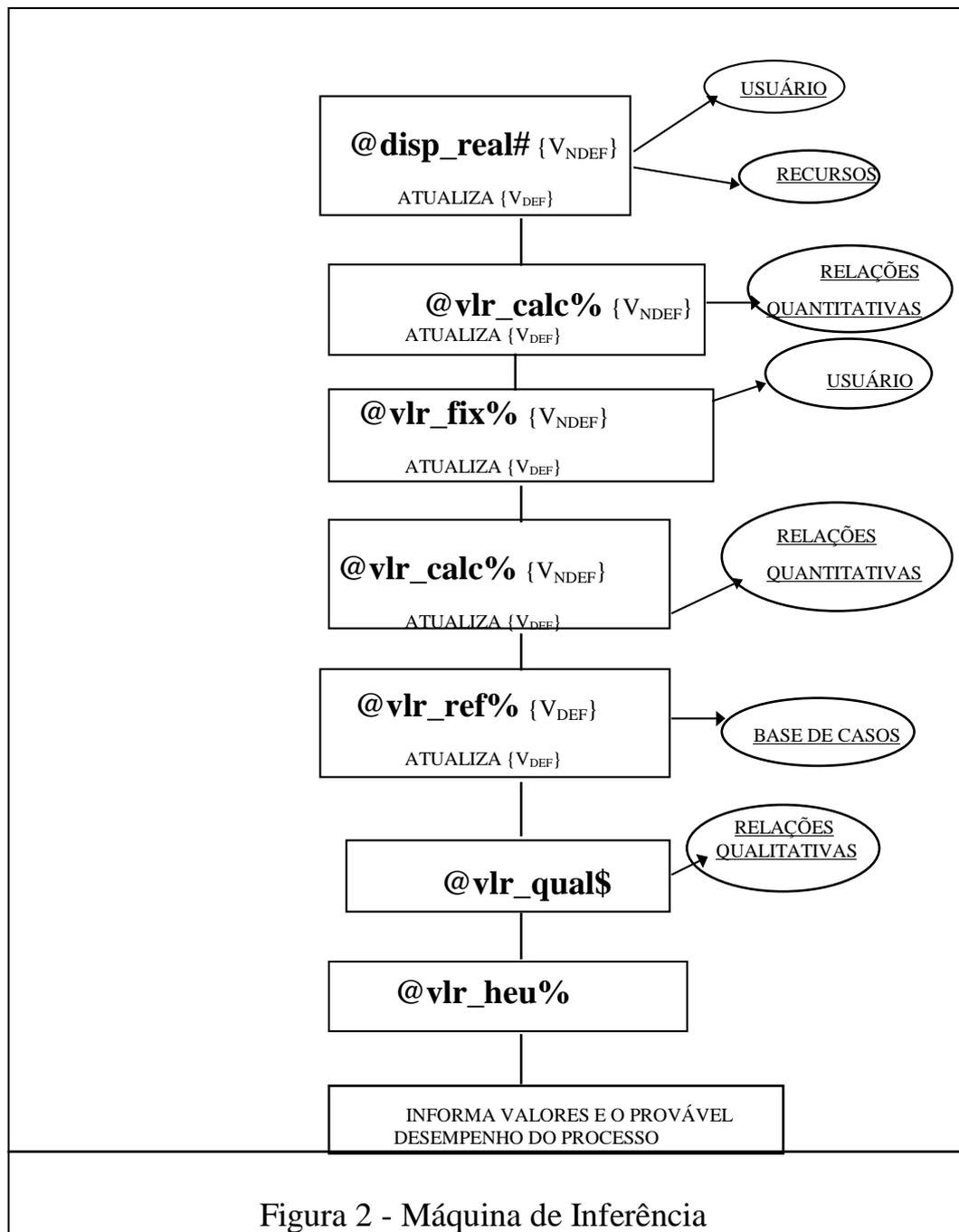
As restrições quantitativas são processadas pela função $@vlr_calc%$ que, partindo de variáveis cujos valores já estejam definidos ou cujo domínio esteja reduzido devido às restrições de recursos, propaga-os por toda a rede. Esta função é executada duas vezes; a primeira é logo após uma leitura da disponibilidade de recursos e a segunda após o usuário, ou outro sistema planejador, ter fixado valores às outras variáveis. A fixação de valores pode, em princípio, ser feita para qualquer variável (estrutural, de comportamento ou funcional). De um modo geral espera-se que pelo menos os valores das variáveis funcionais sejam fixados.

A análise qualitativa se faz necessária pela insuficiência do conjunto de restrições quantitativas em prover meios para **determinar** todos os valores necessários ao plano de processos. Por sua vez, as restrições qualitativas não permitem, diretamente, ao sistema obter valores quantitativos. Ela são úteis na determinação da(s) restrição(eões) mais importante(s). Se a restrição mais importante é uma restrição de recurso ou estrutural, o sistema simplesmente pára e reporta uma inconsistência. Essa inconsistência implica que com os recursos disponíveis no momento é impossível realizar o processo. Caso a restrição seja de comportamento ou funcional o sistema identificará aquela considerada com sendo a mais importante (maior valor entre o previsto e o especificado) e escolherá novos valores para as variáveis estruturais de forma a relaxar a restrição considerada.

O mecanismo de inferência descrito acima pode ser melhor visualizado através do diagrama de blocos apresentado na figura 2.

A máquina de inferência foi implementada na linguagem **lisp** (XLISP-PLUS), sendo que até o presente momento testes realizados com o processo de torneamento de peças simples têm sido satisfatórios, principalmente na escolha das condições de corte (velocidade, avanço e profundidade de corte).

O tratamento de informações geométricas, necessárias para a determinação da sequência de fabricação, dos dispositivos de fixação e da geração de programas CN, ainda se mostra precário, sendo portanto, prioridade para trabalhos futuros.



5. CONCLUSÕES

A propagação de restrições tem se mostrado uma técnica valiosa para o planejamento de processos. Na abordagem realizada aqui pôde se concluir que a propagação de restrições quantitativas se torna difícil pois existem poucos modelos matemáticos para formar a rede de restrições. Entretanto, as restrições qualitativas-causais completam essa rede e permite ao

sistema escolher direções (de alterações das variáveis estruturais) propiciando o **relaxamento** da restrição mais importante.

Além disso, a máquina de inferência não possui um fluxo de informações pré-determinado. Ele surge em função das restrições de recursos, primeiramente, e depois a partir dos valores fixados pelo usuário ou por outro sistema planejador. Dessa maneira, estabelece-se um fluxo multidirecional e oportunista o que garante a integração do planejamento com a produção (tempo e custo) e com o projeto (tolerâncias), satisfazendo em parte os requisitos para um sistema de manufatura integrado.

REFERÊNCIAS

- Armarego, E. J. A., et al. 1993, Constrained Optimization Strategies and CAM Software for Single-Pass Peripheral Milling. *Int. J. Prod. Res.*, v. 31, nº 9, pp. 2139-2160
- Coppini, N. L. e Da Costa, D. D. 1996 Raciocínio Baseado em Casos: uma Ferramenta Útil para a Escolha de Parâmetros de Processos. Anais do XVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção e II - Congresso Internacional de Engenharia Industrial Outubro - Piracicaba - SP
- Davis, E., 1987, Constraint Propagation with Interval Labels. *Artificial Intelligence*, v. 32, pp. 281-331.
- Elmaraghy, H. A. 1993, Evolution and Future Perspective of CAPP. *Annals of the CIRP*, v. 42, nº 2, pp. 739-751.
- Hitomi, K. 1991, Analysis of Optimal Machining Conditions for flow-type Automated Manufacturing Systems. *Int. J. Prod. Res.*, v. 29, nº 12, pp. 2423-2432.
- Iwasaki, Y. e Simon, H. A 1996, Causality in Device Behavior. *Artificial Intelligence*, v. 29, pp. 3-32.
- Stefik, M. 1981, Planning with Constraints (MOLGEN: Part 1). *Artificial Intelligence*, v. 16, pp. 111-140.
- Sussman, G. J. e Steele, G. L. 1980, CONSTRAINTS — A Language for Expressing Almost-Hierarchical Descriptions. *Artificial Intelligence*, v. 14, p. 1-39,

CONSTRAIN-BASED PROCESS PLANNING

Abstract. The present work is concerned with computer-aided process planning. The concept of constrain is presented and proposed as an invaluable tool to building a expert system for an integrated environment. Unfortunately, robust mathematical models are very scarcely in the manufacturing field. Therefore, to face this problem, it was proposed an hybrid approach which combines mathematical models (when available) and qualitative constrains represented as cause-effect relations among structural and operational variables and operational and functional ones. This kind of framework has provide a powerful and very general method (like a shell) for process modelling. At the present stage of implementation, cutting conditions for machining processes can be selected, not to minimize (ou maximize) an objective function, but to satisfy almost all the constrains from the process itself, product requirements and production performance. In that way, the system proposed provide a near integrated manufacturing environment.

Key words: Process planning, Expert systems, Machining