

UMA METODOLOGIA PARA A FABRICAÇÃO DE PEÇAS À DISTÂNCIA

João Carlos Espíndola Ferreira

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica
GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC - E-mail: jcarlos@emc.ufsc.br

Gabriel Fernando Andriolli

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica
GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC - E-mail: gabriolli@bol.com.br

Resumo. A globalização tem causado um aumento significativo na competição entre as empresas; porém em contrapartida ela também permite a cooperação entre empresas, mesmo que estejam geograficamente distantes umas das outras. Uma área de pesquisa decorrente dessa aproximação virtual é a fabricação de peças à distância, situação esta composta pelos seguintes atores: um cliente remoto que introduz as encomendas; uma empresa (chamada aqui de empresa modeladora) responsável pelo desenvolvimento de um sistema computacional para o planejamento das operações a serem executadas sobre as peças encomendadas; e uma outra empresa onde a fabricação propriamente dita será efetuada. Deve-se mencionar que estes três atores poderão estar localizados em qualquer lugar do mundo. No presente artigo será descrita uma metodologia para a execução da fabricação de peças à distância, que inclui as seguintes atividades: introdução da encomenda pelo cliente remoto; planejamento das operações de fabricação da encomenda; geração dos programas de comando numérico para a fabricação das peças; envio das informações para a empresa executora da fabricação; fabricação propriamente dita das peças.

Palavras chave: Fabricação à distância, Peças Industriais, Internet, Globalização, Planejamento de Processos

1. Introdução

Há vários anos as empresas de manufatura em todo o mundo têm atuado num ambiente bastante competitivo, em que produtos de qualidade equivalente ou até melhor, com bons preços, têm concorrido pela conquista do mercado consumidor. Ao mesmo tempo, esta competição causada pela globalização tem levado empresas a buscar cooperações com outras empresas para manterem-se competitivas neste mercado.

Um fator que tem acelerado ainda mais a globalização é a Internet, através da qual o consumidor pode vender/comprar produtos sem sair de sua casa ou local de trabalho (ver por exemplo Saturn 2000 e Nissan 2001). E via de regra os preços em sites da Internet são mais reduzidos do que em lojas reais.

Uma vez que a Internet permite a aproximação virtual entre pessoas/empresas localizadas geograficamente distantes entre si, ela pode também ser utilizada como tecnologia para permitir a fabricação de peças à distância. Este tipo de fabricação é motivado pelo fato do cliente não necessariamente possuir os equipamentos e acessórios para a fabricação do produto. Do ponto de vista da empresa que executa a manufatura, ela ao mesmo tempo em que entra diretamente em contato com o cliente, ao responder prontamente à solicitação quanto à qualidade do produto e tempo de entrega, ela pode assim não somente manter o seu nicho de mercado, mas também aumentá-lo.

Neste artigo propõe-se uma metodologia para a fabricação de peças à distância, que inclui as seguintes atividades: introdução da encomenda pelo cliente remoto; planejamento das operações de fabricação da encomenda; geração dos programas de comando numérico para a fabricação das peças; envio das informações para a empresa executora da fabricação; fabricação propriamente dita das peças.

Uma descrição desta metodologia é feita nos próximos itens.

2. Participantes do Procedimento de Fabricação à Distância

Propõe-se nesta metodologia a participação de três atores, que são os seguintes:

- Um cliente remoto que introduz as encomendas;
- Uma empresa, chamada aqui de "empresa modeladora", que é responsável pelo desenvolvimento de um sistema computacional para o planejamento das operações a serem executadas sobre as peças encomendadas;
- Uma empresa onde será executada a manufatura propriamente dita.

A Fig. 1 ilustra os participantes da metodologia proposta, os quais podem estar localizados em qualquer lugar do mundo. Deve-se perceber na Fig. 1 que existe troca de informações entre o cliente remoto e a empresa modeladora, e também entre esta e a empresa de manufatura. O produto final (ou subconjunto) é enviado diretamente da empresa de manufatura para o cliente.

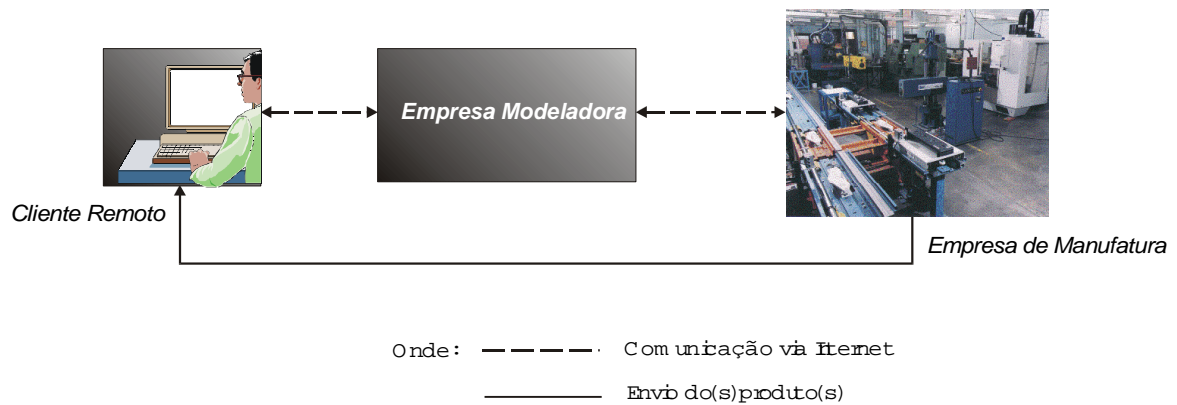


Figura 1. Os atores participantes da metodologia de fabricação à distância

Um detalhamento das atividades de cada um dos participantes desta metodologia é feito nos próximos itens.

3. Atividades Efetuadas pelo Cliente Remoto

O cliente efetua basicamente as seguintes atividades, nesta seqüência:

- Ele entra no site da empresa modeladora.
- Caso ele não esteja cadastrado no banco de dados da empresa modeladora, ele cadastra os seus dados no site. Estes dados incluem: nome, sobrenome, endereço, CEP, cidade, país, telefone, fax, e-mail, login e senha. Caso ele já esteja cadastrado, ele deverá introduzir o login e a senha (ver Fig. 2).

Figura 2. Janela para a entrada de dados pelo cliente, desenvolvida usando-se HTML e Java (Sun Microsystems, 2000)

- Ele poderá então efetuar a encomenda, que poderá ser de dois tipos:
 - * Ele poderá encomendar uma peça que já é fabricada pela empresa de manufatura. Estas peças serão mostradas para o cliente através de um visualizador em 3D (alguns visualizadores podem ser encontrados em Web3D, 2001). Caso o cliente desejar saber mais detalhes a respeito de cada peça, uma tabela contendo detalhes da peça será mostrada para ele (por exemplo, diâmetro, profundidade e tolerâncias de um furo na peça).
 - * O cliente poderá introduzir uma peça nova. Nesse caso o módulo de projeto de peças baseado em "features"¹ é disponibilizado para o cliente. Este módulo pode assemelhar-se ao sistema WebCAD desenvolvido no projeto Cybercut da University of California, Berkeley (Ahn et al., 2000; Cybercut, 2000). Após a conclusão do projeto da peça, os dados são gravados num banco de dados relacional que contém as informações sobre a peça.

¹ Como exemplo de "features" tem-se: furo, ranhura, cavidade, etc.

Recomenda-se que o módulo de CAD permita que o cliente introduza uma encomenda que possa ser fabricada no sistema flexível de manufatura da empresa de manufatura.

- Ele introduz a quantidade de peças a serem fabricadas.

Após a entrada dos dados acima, o cliente recebe a informação de que sua encomenda está sendo considerada para a fabricação. A empresa modeladora passa então à fase de tomada de decisões referentes à manufatura da encomenda solicitada.

3. Atividades Efetuadas pela Empresa Modeladora

As atividades efetuadas pela empresa modeladora são mostradas na Fig. 3. Neste trabalho considera-se que esta empresa é separada da empresa de manufatura. Exemplos de empresas que podem efetuar estas atividades incluem uma empresa de consultoria em software, ou então uma instituição acadêmica com experiência nestas atividades.

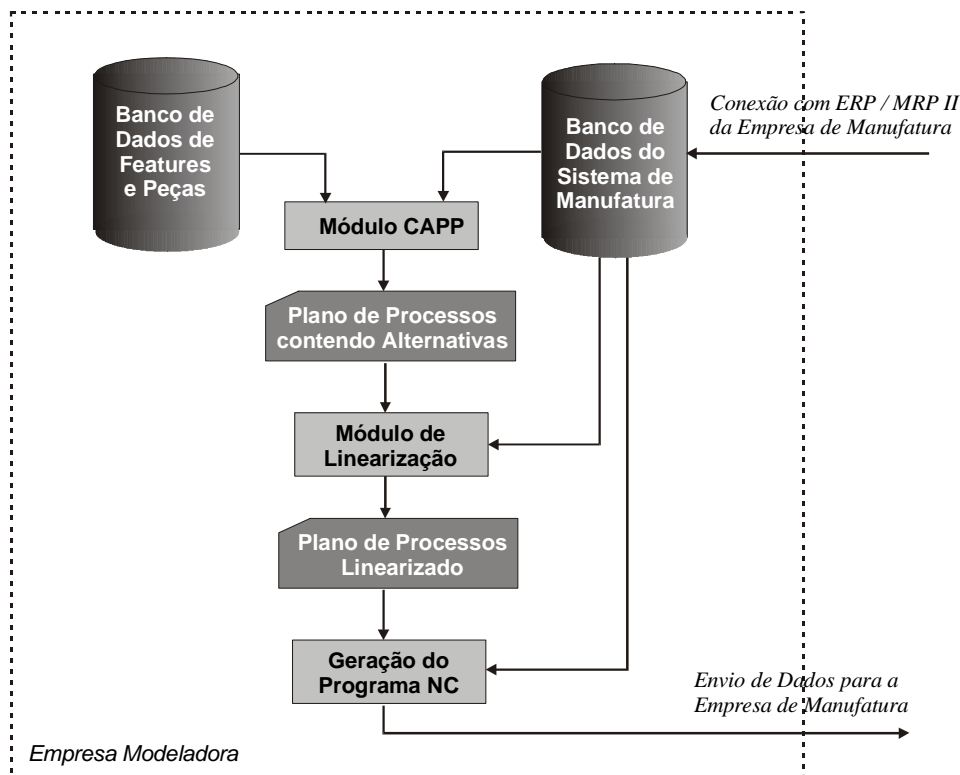


Figura 3. Atividades efetuadas pela empresa modeladora

Após a entrada da encomenda pelo cliente remoto, as informações sobre as peças que devem ser fabricadas estão disponíveis no banco de dados de "features" e peças.

O banco de dados do sistema de manufatura contém as seguintes informações: as operações de manufatura, as máquinas e suas características, as ferramentas de corte e os dispositivos de fixação. É importante que o banco de dados contenha informações sobre a agenda das máquinas, para que a tomada de decisões seja feita considerando a disponibilidade efetiva da máquina. Para isso, recomenda-se a presença de uma conexão com o sistema ERP/MRP II da empresa de manufatura.

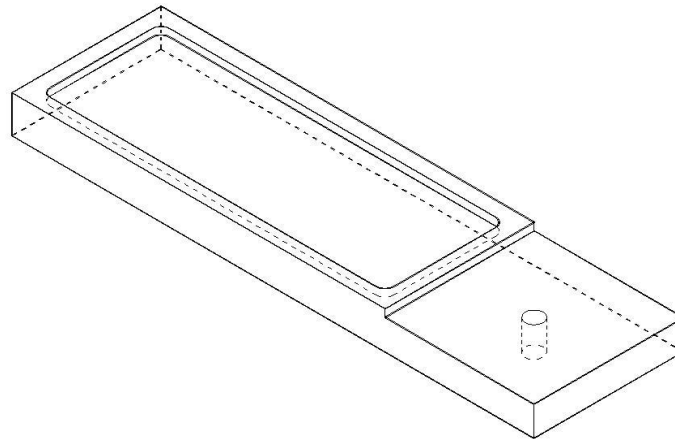
O módulo de CAPP (Planejamento de Processos Assistido por Computador) é um elemento importante na empresa modeladora, o qual é o responsável pela geração do plano de processos contendo alternativas. Dentre as alternativas consideradas neste trabalho tem-se as operações, as máquinas-ferramenta e as ferramentas de corte.

Tradicionalmente as decisões sobre planos de processo para a fabricação de peças são tomadas sem considerar aspectos dinâmicos do chão de fábrica, e desta forma introduz-se restrições artificiais que poderão dificultar a fase de agendamento. Algumas situações que podem ocorrer no chão de fábrica que podem atrasar a fabricação são: indisponibilidade da máquina por estar ocupada fabricando outro lote, ou então por estar quebrada ou em manutenção; pode ser também que uma ou mais ferramentas estejam indisponíveis. Para evitar estes problemas, pode-se atrasar a determinação do plano de processos final, isto é, as possíveis alternativas neste caso não são descartadas, e sim consideradas até o momento da efetiva fabricação do lote no chão de fábrica. Alguns trabalhos foram desenvolvidos no passado que consideraram a presença de alternativas em planos de processos, dentre os quais incluem-se: Wilhelm e Shin (1985), Kruth e Detand (1992); Xirouchakis et al. (1999) e Ferreira e Wysk (2001).

Um fator importante em pesquisas para a geração de planos de processo contendo alternativas é a forma de representação destes planos de processo. Alguns métodos para representar-se planos de processo contando alternativas são os seguintes:

- Petri-nets (Wilhelm e Shin, 1985; Kruth e Detand, 1992);
- Grafos E/OU (Cho et al., 1994; Ferreira et al., 2001);
- Estruturas de árvore (Shapiro, 1992);
- Grafos direcionados (Catron e Ray, 1991; Schneider e Bruell, 1992);
- Matrizes (Halevi, 1999).

Uma análise detalhada de representações existentes de planos de processos é dada em (Knutilla et al., 1992). No presente trabalho propõe-se a utilização de matrizes para a representação de planos de processos, e um exemplo é dado na Fig. 4.



(a)

Matrizes de Halevi

Universal Máquinas Tempo Custos Resultados

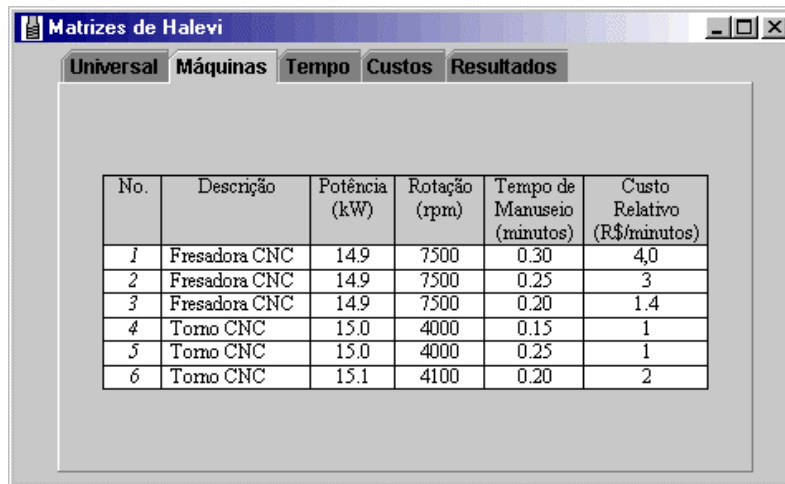
No. Op.	Operação	Prec.	Diâm. Ferramenta (mm)	Compr. (mm)	Profund. (mm)	Avanço (mm/rev)	Velocidade (m/min)	Potência (KW)	Tempo (min)
10	Fresamento (desbaste)	0	125	378	4.4	808	100	20	0.47
20	Fresamento (desbaste)	10	125	128	4.6	755	100	20	0.17
30	Fresamento (semi-acab.)	20	125	278	0.4	905	148	2.2	0.31
40	Fresamento (acab.)	30	125	378	0.2	200	185	0.39	1.89
50	Fresamento de cavidade (desb.)	10	80	130	4.0	1093	102	20.6	0.24
60	Fresamento de cavidade (acab.)	50	12	472	0.4	120	24	0.33	4.16
70	Furação de centro	20	3	3	-	0.05 (mm/rev)	14	0.025	0.03
80	Furação c/broca helic.	70	7	21	-	0.16 (mm/rev)	15.7	0.3	0.22
90	Alargamento (desb.)	80	12	21	-	0.19 (mm/rev)	23.5	0.5	0.20

(b)

Figura 4. (a) Uma peça e (b) o plano de processos contendo alternativas para a sua fabricação (Halevi, 1999)

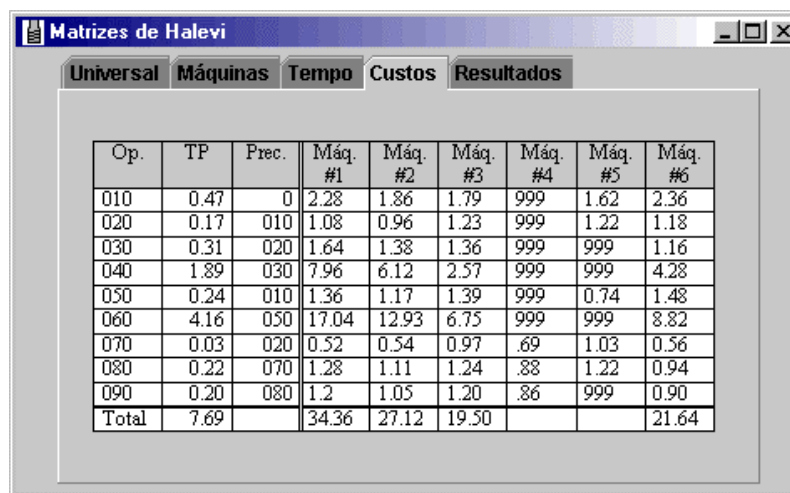
Para a geração dos planos de processo contendo alternativas, propõe-se a aplicação do método de Halevi (1999), que é composto pelos seguintes passos:

- Deve-se gerar inicialmente a matriz universal de operações, onde operações são selecionadas sem considerar máquinas específicas. Um exemplo dessa matriz foi dado na Fig. 4.
- Determina-se então as matrizes de custos e tempos, já considerando as máquinas disponíveis, sendo que as informações referentes às máquinas são mostradas na Fig. 5. Considera-se que, no caso de movimentação da peça de uma máquina para outra, os tempos de movimentação e fixação na outra máquina são incluídos no cálculo dos tempos (e custos) totais. Detalhes desse procedimento encontram-se em Halevi (1999). Um exemplo de matriz de custos é dado na Fig. 6.



No.	Descrição	Potência (kW)	Rotação (rpm)	Tempo de Manuseio (minutos)	Custo Relativo (R\$/minutos)
1	Fresadora CNC	14.9	7500	0.30	4.0
2	Fresadora CNC	14.9	7500	0.25	3
3	Fresadora CNC	14.9	7500	0.20	1.4
4	Tomo CNC	15.0	4000	0.15	1
5	Tomo CNC	15.0	4000	0.25	1
6	Tomo CNC	15.1	4100	0.20	2

Figura 5. Informações referentes às máquinas presentes no sistema de manufatura



Op.	TP	Prec.	Máq. #1	Máq. #2	Máq. #3	Máq. #4	Máq. #5	Máq. #6
010	0.47	0	2.28	1.86	1.79	999	1.62	2.36
020	0.17	010	1.08	0.96	1.23	999	1.22	1.18
030	0.31	020	1.64	1.38	1.36	999	999	1.16
040	1.89	030	7.96	6.12	2.57	999	999	4.28
050	0.24	010	1.36	1.17	1.39	999	0.74	1.48
060	4.16	050	17.04	12.93	6.75	999	999	8.82
070	0.03	020	0.52	0.54	0.97	.69	1.03	0.56
080	0.22	070	1.28	1.11	1.24	.88	1.22	0.94
090	0.20	080	1.2	1.05	1.20	.86	999	0.90
Total	7.69		34.36	27.12	19.50			21.64

Figura 6. Exemplo de matriz de custos para a fabricação de uma peça num determinado sistema de manufatura

A matriz de custos contém as operações possíveis de serem executadas no sistema de manufatura em questão. Porém, é necessário que máquinas e operações específicas sejam selecionadas. Este procedimento é efetuado pelo módulo de linearização, no qual é aplicado um método em que linhas da matriz são alteradas considerando-se o custo de execução das operações nas máquinas, e a precedência entre as operações (Halevi, 1999).

Entretanto, o método de linearização proposto por Halevi presume que os equipamentos e recursos estarão disponíveis no momento da linearização, o que pode não corresponder à realidade (p.ex. uma máquina considerada adequada pode estar ocupada fabricando outro lote). Como mencionado anteriormente, nesta proposta as informações sobre a disponibilidade dos recursos são obtidas via Internet diretamente do sistema de manufatura real. No caso de indisponibilidade de alguma máquina, o método de linearização considera automaticamente uma máquina alternativa. Um exemplo de matriz linearizada é mostrado na Fig. 7.

De posse do plano de processos linearizado, as informações neste plano, que correspondem a operações, máquinas e ferramentas, são enviadas para a empresa de manufatura. Caso no sistema de manufatura haja máquinas de comando numérico computadorizado (CNC), propõe-se a geração do programa NC para estas máquinas pela própria empresa modeladora. Para isso, serão necessárias as seguintes informações: (i) a operação; (ii) a máquina; (iii) a ferramenta; (iv) a "feature"; (v) as condições de usinagem. Desta forma, conhecendo-se o código "G" da máquina específica para a execução daquela operação, pode-se utilizar uma "máscara" cujas variáveis serão instanciadas com os valores correspondentes a cada operação. Abaixo ilustra-se uma máscara para uma operação de furação na máquina Fadal VMC-20:

```
G00 X <x> Y <y> H0 M6 T <ferramenta>
H <offset da ferramenta > Z <z + 0.10>
Z <z + 0.10>
G01 Z <z - profundidade> S <rpm> F <avanço> M3 M8
G00 Z <z + 0.10>
Z <z + 0.10> M5
```

Operação		Máquina	Custo	Tempo
nova	anterior			
010	010	4	1.62	1.62
020	020;070	2	2.13	0.71
030	030;080;090	1	3.52	1.76
040	040-060	3	10.32	7.37
Total			17.59	11.46
Penalties			4 x 0.2	4 x 0.03
Total			18.39	11.58

Figura 7. Matriz linearizada, onde percebe-se a seqüência de operações, as respectivas máquinas selecionadas e os custos e tempos de fabricação

O programa NC para a fabricação de uma peça numa máquina é obtido pela combinação seqüencial dos trechos de programa para cada operação no plano de processos linearizado. O mesmo procedimento seria aplicado para a usinagem nas outras máquinas presentes no mesmo sistema de manufatura.

4. Atividades Efetuadas pela Empresa Modeladora

Esta empresa, após receber as informações advindas da empresa modeladora a respeito das encomendas do cliente, procede na execução da manufatura propriamente dita. Após a manufatura dos lotes, as peças fabricadas serão enviadas diretamente para o cliente.

5. Implementação da Metodologia

A metodologia proposta está em fase de implementação, e estão sendo utilizadas as seguintes ferramentas de desenvolvimento:

- Linguagem Java (Sun Microsystems, 2000);
- Páginas em HTML;
- Banco de dados MySQL (MySQL AB, 2000).

O laboratório GRIMA/GRUCON da Universidade Federal de Santa Catarina representa a Empresa Modeladora, enquanto que a Empresa de Manufatura neste desenvolvimento é representada pelo CIMLab da Pennsylvania State University, nos EUA.

6. Conclusões

Foi apresentada neste artigo uma metodologia para a fabricação de peças à distância. A Internet é utilizada para a comunicação entre alguns módulos do sistema proposto.

O plano de processos, que contém informações importantes para a fabricação dos lotes de peças, é considerado como contendo alternativas para fabricação. Desta forma, facilita-se o agendamento dos recursos de manufatura, no caso de situações como a indisponibilidade de máquinas ou ferramentas.

Nesta proposta considera-se a presença de três atores, isto é, o cliente remoto, a empresa modeladora e a empresa de manufatura. Assume-se que a empresa modeladora é separada da empresa de manufatura, e neste caso pressupõe-se que haja uma grande confiança entre estas empresas, pois a primeira deverá saber detalhes sobre o sistema de manufatura da segunda, e isto poderá incluir informações confidenciais. Apesar deste nível de confiança ser difícil de ser atingido, acredita-se que num ambiente competitivo do mercado globalizado atual, a busca por cooperações como esta será comum, principalmente quando a empresa de manufatura: (i) não tiver experiência sobre a aplicação de planos de processo contendo alternativas; (ii) desejar ter um contato mais direto com o cliente.

Entretanto, deve-se mencionar que esta proposta não impede que a empresa modeladora faça parte da empresa de manufatura, e que ambas estejam no mesmo local geográfico. Neste caso o procedimento proposto será mais simples, porém será necessário que a empresa de manufatura seja capacitada para a implementação dos módulos propostos.

7. Agradecimentos

Ambos os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro a este trabalho de pesquisa.

8. Referências

- Ahn, S. H., Sequin, C. S. e Wright, P. K., 2000, "Internet-Based Design and Manufacturing", Final Report 1998-1999 for MICRO Project 98-136.
- Catron, B.A. e Ray, S.R., 1991, "ALPS: A Language for Process Specification", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 4, No. 2, pp. 105-113
- Cho, H., Derebail, A., Hale, T. e Wysk, R.A., 1994, "A Formal Approach to Integrating Computer-Aided Process Planning and Shop Floor Control", Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry, Vol. 116, pp. 108-116
- Cybercut, 2000, "Cybercut Project", http://cybercut.berkeley.edu/html/design/webcad_user.htm
- Ferreira, J.C.E. e Wysk, R.A., 2001, "An Investigation of the Influence of Alternative Process Plans on Equipment Control", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 19, No. 6, pp 393-406
- Ferreira, J.C.E., Steele, J., Wysk, R.A. e Pasi, D.A., 2001, "A Schema for Flexible Equipment Control in Manufacturing Systems", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Londres
- Halevi, G., 1999, "Restructuring the Manufacturing Process: Applying the Matrix Method", St. Lucie Press
- Knutilla, A., Schlenoff, C., Ray, S., Polyak, S.T., Tate, A., Cheah, S.C. e Anderson, R.C., 1998, "Process Specification Language: an Analysis of Existing Representations", National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6160
- Kruth, J.P. e Detand, J., 1992, "A CAPP System for Nonlinear Process Plans", Annals of the CIRP, Vol. 41, No. 1, pp 489-492
- MySQL AB, 2000, "MySQL", <http://www.mysql.com>
- Nissan, 2001, "California Nissan Dealers", <http://www.enissan.com>
- Saturn, 2000, "Saturn Cars", <http://www.saturncars.com>
- Schneider, G.M. e Bruell, S.C., 1992, "Concepts in Data Structures and Software Development", West Publishing Co.
- Shapiro, S.C., 1992, "Encyclopedia of Artificial Intelligence", John Wiley & Sons, 2nd Edition
- Sun Microsystems, 2000, "The Source for Java™ Technology", <http://java.sun.com>
- Web3D, 2001, "The Web3D Repository", <http://www.web3d.org/vrml/browpi.htm>
- Wilhelm, W.E. e Shin, H.-M., 1985, "Effectiveness of Alternate Operations in a Flexible Manufacturing System", International Journal of Production Research, Vol. 23, No. 1, pp 65-79
- Xirouchakis, P., Kiritsis, D. e Persson, J.-G., 1998, "A Petrinet Technique for Process Planning Cost Estimation", Annals of the CIRP, Vol. 47, No. 1, pp 427-430

A METHODOLOGY FOR REMOTE MANUFACTURE OF MECHANICAL PARTS

João Carlos Espíndola Ferreira e Gabriel Fernando Andriolli

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica

GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC - E-mail: jcarlos@emc.ufsc.br

Abstract. *Globalization has caused a significant increase in the competition between companies. However, at the same time, it has allowed the cooperation between companies, even if they are geographically away from one another. A research area that stems from this virtual proximity is the remote manufacture of mechanical parts, and this situation comprises the following actors: a remote client who inputs the orders, a company (which is called here "modeling company") responsible for the development of a computer system to plan the operations that will be performed on the ordered parts; another company where the actual manufacture will take place. It should be mentioned that these three actors may be located anywhere in the world. In this paper, a methodology to perform the remote manufacture of parts is described, which includes the following activities: input of orders by the remote client; planning of manufacturing processes to be executed on the parts; numerical control program generation for the parts; sending of the pieces of information to the manufacturing company; and the actual manufacture of the parts.*

Keywords. *Remote Manufacture of Parts, Industrial Parts, Internet, Globalization, Process Planning*