

Análise da Complexidade do Problema da Selecção de Sistemas de Recursos para o Projecto de Empresas Ágeis / Virtuais

P. Ávila^a, G. Putnik^b, M. M. Cunha^c

^a *Escola Superior de Engenharia do Instituto Politécnico do Porto, Portugal*

^b *Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho, Portugal*

^c *Escola Superior de Gestão do Instituto Politécnico do Cávado e do Ave, Portugal*

1. INTRODUÇÃO

Face aos requisitos do mercados de hoje e especialmente no futuro, caracterizado por curtos ciclos de vida dos novos produtos, evolução rápida das novas tecnologias, nomeadamente as tecnologias de informação e comunicação, e por variações frequentes na procura, as empresas são remetidas para novas formas organizacionais, tais como as empresas integradas, as empresas distribuídas, e mais recentemente as empresas Ágeis/Virtuais (EA/V), na procura de aumentarem a sua capacidade de adaptação ou reconfiguração, i.e. aumentarem a sua flexibilidade. As empresas EA/V indiciam potenciais de melhor desempenho para casos particulares de produção, do que os modelos organizacionais convencionais (empresas tradicionais), conforme já verificados em (Ávila, P., 1998), e (Agrawal A., 1999), e que, de acordo com a definição de empresas EA/V (Putnik G., 2000)¹ a "real-time substitutable physical structure" é uma condição indispensável para se conseguir a flexibilidade desejada desse modelo organizacional. Assim sendo, o processo de selecção de sistemas de recursos assume uma parte importante no projecto de empresas EA/V, sistema este, que analisaremos neste trabalho o seu processo de configuração para a partir daí nos apercebermos que a complexidade do problema da selecção (exequível em tempo útil e com solução que permita o desempenho desejado), é função da *dimensão do espaço de soluções*, dos *modelos de selecção*, e dos *algoritmos de selecção de sistemas de recursos* a aplicar (eventualmente a desenvolver), devendo assim ser alvo de reflexão aquando do processo de selecção.

2. Análise do Processo de Configuração de um Sistema de Recursos para o Projecto de uma Empresa EA/V

O problema da configuração de um sistema de recursos para o projecto de uma empresa EA/V, pode ser caracterizado em dois casos distanciados no tempo, na fase de projecto do sistema temos a *configuração do sistema*, e na fase do funcionamento do sistema

¹ A Virtual Enterprise (VE) is an optimised enterprise synthesised over universal set of resources with the real-time substitutable structure. The design (synthesis) and control of the system is performed in an abstract, or virtual environment.

poderemos ter de recorrer à **reconfiguração do sistema**. Na configuração do sistema o problema de selecção que se coloca é o da selecção de um sistema de recursos o mais eficiente possível que assegure o fabrico do produto, enquanto que na reconfiguração do sistema a selecção dar-se-á aquando da necessidade de reconfigurar o sistema de recursos que participam no projecto. Apesar da configuração do sistema anteceder eventuais reconfigurações desse sistema ao longo do ciclo de produção do produto, o problema da reconfiguração é um problema equivalente do problema da configuração, isto é, o problema da reconfiguração pode levar apenas à substituição dos recursos em falta ou à substituição de toda a estrutura. A configuração dum sistema EA/V é a identificação dos recursos que irão executar um plano de tarefas do ciclo de produção do produto definido pelo gestor do projecto do sistema EA/V. Para percebermos o processo de configuração do sistema precisamos de definir o que se entende por tarefa, tarefa simples/complexa plano de tarefas, e por recurso elementar/complexo.

Def.1 – recurso elementar - recurso que ao se desintegrar perde a totalidade das suas capacidades funcionais. Por exemplo: máquina, ferramenta, operário, software.

Def.2 – recurso complexo - entidade que se propõe executar determinada tarefa sem que a sua selecção recaia sobre o tipo de recursos elementares necessários para a sua realização. Por exemplo: empresa, universidade.

Def.3 – tarefa - é uma parte completa do ciclo de produção do produto executada num só posto de trabalho.

Def.4 – tarefa complexa - tarefa em que não se identificam os tipos de recursos elementares necessários à sua realização, i.e., apenas se define o objectivo da tarefa com as suas especificações. Por exemplo: roda dentada em aço x1, com diâmetro x2, número de dentes x3.

Def.5 – tarefa simples - tarefa em que se identificam os tipos de recursos elementares necessários à sua realização, i.e., além de se definir o objectivo da tarefa com as suas especificações é necessário especificar os tipos de recursos elementares que nela participam. Por exemplo: roda dentada em aço x1, com diâmetro x2, número de dentes x3, tipo de máquina t1, tipo de operário t2.

Def.6 – plano de tarefas - conjunto de tarefas (simples e/ou complexas) com suas interdependências temporais, que definem o ciclo de produção do produto. Se o plano de tarefas comportar apenas tarefas simples designar-se-á por **plano de tarefas simples**, se comportar apenas tarefas complexas será designado por **plano de tarefas complexas**, se comportar ambos os tipos de tarefas será designado por **plano de tarefas misto**.

A especificação de tarefa simples/complexa depende da entidade gestora do plano de tarefas, ou seja, é esta que define as tarefas que serão simples e as que serão complexas. Da análise das definições apresentadas, vemos que só será possível seleccionar recursos elementares para as tarefas simples, enquanto que para as tarefas complexas, uma vez

que não estão definidos os tipos de recursos elementares, só será possível seleccionar recursos complexos. O problema da configuração do sistema EA/V para um plano de tarefas simples a partir de recursos elementares está simbolicamente representado na figura 1, onde estão identificadas as sucessivas fases globais do processo de configuração do sistema de recursos, desde a definição do domínio de recursos elementares, passando pelo domínio de recursos integrados, até à configuração do sistema de recursos integrados.

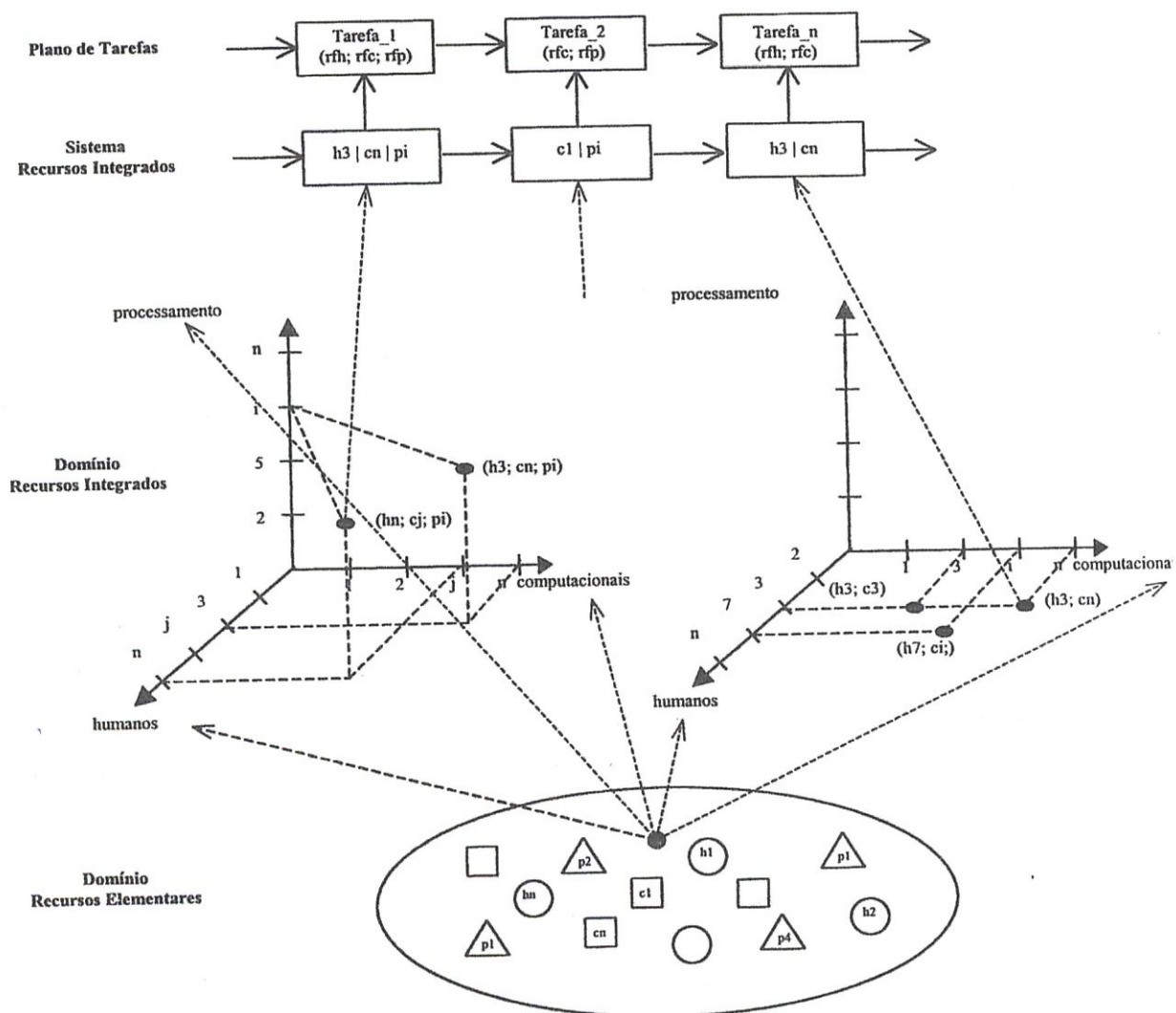


Figura 1 - Especificação genérica do processo de configuração do sistema de recursos Integrados.

DOMÍNIO DE RECURSOS ELEMENTARES

O problema da configuração do sistema de recursos vai considerar três tipos de recursos elementares por tarefa, conforme identifica a figura 1, os recursos de processamento (equipamento industrial para processamento de matéria prima), os recursos computacionais (hardware e software), e os recursos de conhecimento (geralmente

recursos humanos). Para se definir o *domínio de recursos elementares* é necessário seleccionar recursos elementares distribuídos à escala mundial, que são capazes de satisfazer os requisitos funcionais das tarefas simples pertencentes ao plano de tarefas do ciclo de produção do produto. Chega-se à definição do domínio de recursos elementares a partir do conhecimento dos requisitos funcionais (conhecimento humano (rfh), computacionais (rfc), e de processamento (rfp)), para cada tarefa simples. Nesta fase, fica-se a conhecer a capacidade dum determinado recurso elementar satisfazer ou não um determinado requisito funcional, associado ao seu tipo, numa tarefa. De forma esquemática representou-se na figura 1 para cada tarefa, a representação desses recursos por três eixos, cada um associado a um tipo.

DOMÍNIO DE RECURSOS INTEGRADOS

Def. 7 - recurso integrado - sistema de recursos elementares, com a capacidade de se integrarem para executarem uma determinada tarefa simples.

Nesta fase são encontrados para cada tarefa simples a partir dos recursos pertencentes ao *Domínio de Recursos Elementares*, todos os sistemas de recursos com a capacidade de se integrarem (*recursos integrados*), para executar essa tarefa. Considerando que a cada requisito funcional de cada tarefa simples (cada um do seu tipo), está associado um único recurso elementar, verificamos na figura 1 que a dimensão de cada recurso integrado será a mesma da dimensão dos requisitos funcionais dessa tarefa. Isto é, se a dimensão dos requisitos funcionais da tarefa n for máxima (três), a dimensão do recurso integrado associados a essa tarefa também o será e em igual número. Para o número mínimo de requisitos funcionais (um), verificar-se-á a dimensão mínima do recurso integrado, também igual a um.

SISTEMA DE RECURSOS INTEGRADOS

Def. 8 - sistema de recursos integrados - conjunto mínimo de recursos integrados capaz de executar o plano de tarefas do ciclo de produção do produto.

Nesta fase, vamos encontrar o sistema de recursos integrados segundo algoritmos e modelos de selecção, a partir dos recursos integrados pertencentes ao *Domínio de Recursos Integrados*, que melhor desempenho apresentem, i.e., que melhor satisfaçam os requisitos do sistema EA/V. Vemos da figura 1, que para cada tarefa do plano de tarefas será seleccionado um único recurso integrado para a sua execução. Ao conjunto desses recursos seleccionados designaremos por sistema de recursos integrados.

3. ANÁLISE DA COMPLEXIDADE DO PROBLEMA DA SELECÇÃO DO SISTEMA DE RECURSOS PARA O PROJECTO DE UM SISTEMA (EA/V)

Em todas as fases do processo de configuração do sistema EA/V, é necessário efectuar, em sentido lato, a selecção de recursos. No entanto, nesta análise da complexidade do problema da selecção vamos-nos referir apenas à terceira fase da configuração do sistema, da *definição do sistema de recursos integrados*. No problema da selecção está em causa a *selecção do sistema de recursos*, que melhor desempenho apresente, segundo um ou mais parâmetros de selecção (tais como tempo, custo, qualidade, e outros), num dado intervalo de tempo do ciclo de produção do produto, a partir do domínio de recursos integrados. A análise da complexidade do problema da selecção é indispensável no projecto do sistema EA/V uma vez que a eficiência deste processo de selecção é crítico para garantir a funcionalidade real do nosso sistema. A complexidade do problema da selecção é função da *dimensão do espaço de soluções dos sistemas de recursos*, do *modelo de selecção* que se definir, e do *algoritmo de selecção* utilizado, podendo-se então escrever,

$$\text{Complexidade Selecção} = f(\text{dim. espaço soluções; modelo selecção; algoritmo selecção}).$$

3.1 DIMENSÃO DO ESPAÇO DE SOLUÇÕES

Def. 9 - Dimensão do espaço de soluções - número total de sistemas de recursos integrados que são possíveis definir a partir do domínio de recursos integrados e que vão constituir o domínio de sistemas de recursos para o projecto do sistema EA/V.

A identificação do espaço de soluções possíveis, i. e., o domínio para o projecto EA/V, é o espaço sobre o qual se encontrarão todos os sistemas de recursos que são possíveis definir por forma a assegurar as especificidades do projecto (programa de tarefas e critérios de desempenho de selecção), dum sistema EA/V. A análise da dimensão do espaço de soluções é efectuada a partir do conhecimento do número dos recursos integrados por tarefa. Ora vejamos, se X_h , X_c , e X_p forem as quantidades de recursos primitivos por tipos de recursos, que satisfazem os requisitos funcionais duma determinada tarefa, o número total de recursos integrados máximo por tarefa, que se verificará se qualquer recurso primitivo de um determinado tipo for integrável com quaisquer outros dois recursos primitivos dos restantes tipos, e se cada tarefa necessitar apenas de um recurso de cada tipo, será dado por,

Nº de recursos integrados por tarefa = $X_h \times X_c \times X_p$. se $X_h = X_c = X_p = X$

$$\text{Nº de recursos integrados por tarefa} = X^3$$

Podemos agora avaliar a dimensão do espaço de soluções para o projecto EA/V, que coincide com o número total de sistemas de recursos integrados que é possível definir a partir do domínio de recursos integrados, sistemas esses que são potenciais candidatos ao projecto do sistema EA/V. Ora vejamos, se Y_1, Y_2, \dots, Y_n , representarem as quantidades de recursos compostos que satisfazem as tarefas 1, 2, ..., n, respectivamente, o número total de sistemas de recursos, que são candidatos ao projecto EA/V, é dado por,

Nº total de sistemas de recursos integrados = $Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_n$. se $Y_1 = Y_2 = \dots = Y_n = Y$

Nº total de sistemas de recursos integrados = Y^n mas como $Y = X^3$

$$\text{Nº total de sistemas de recursos integrados} = X^{3n}$$

Então, o problema da determinação dos sistemas de recursos integrados tem complexidade X^{3n} , ou seja, exponencial. Por forma a visualizarmos o rápido crescimento do número de sistemas de recursos (X^{3n}), que se poderá determinar em função do número de recursos elementares X para cada tipo de recurso por tarefa, e em função do número de tarefas do programa de produção do sistema EA/V, representaram-se na figura 2 três curvas para n (número total de tarefas), igual a 1, 2 e 3,

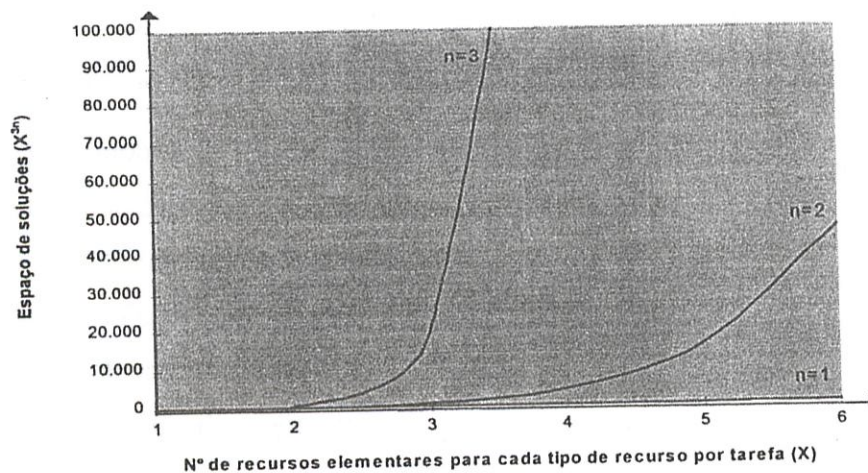


Figura 2 - Variação do espaço de soluções em função do número de recursos elementares X para cada tipo de recurso por tarefa e do número de tarefas do programa de produção do sistema EA/V.

e com X (número de recursos elementares para cada tipo de tipo de recurso por tarefa), a variar de 1 a 6.

Conforme demonstra a figura 2, o rápido crescimento do espaço de soluções, mesmo para valores aquém do expectável numa situação de implementação real do sistema EA/V, situação essa que pode contemplar a produção de produtos complexos, que no contexto deste artigo significa produtos cujo plano de processo de fabrico tem 20 a 30 operações, incluindo obrigatoriamente operações de montagem, leva-nos a pensar na tentativa de resolução eficiente do problema da selecção dos sistemas de recursos. Uma abordagem à diminuição da dimensão do espaço de soluções para o problema da selecção do sistema de recursos, poderá ser semelhante à que Cunha, M. (1999), justificou na determinação da dimensão do domínio de recursos. Por analogia, será a limitação do número de sistemas de recursos que compõem o espaço de soluções, em função de parâmetros a definir, que garantam o processo eficiente de selecção e a selecção de um sistema de recursos eficiente para o projecto, mesmo utilizando um espaço de soluções com dimensão menor que o espaço de soluções que seria possível encontrar à escala mundial. Por outras palavras, pensamos que a partir de determinado número de sistemas de recursos que compõem o espaço de soluções, o aumento da eficiência média desses sistemas não será importante face ao aumento da ineficiência temporal do processo de selecção. A figura 3 mostra qualitativamente essa interpretação da justificação da limitação do espaço de soluções.

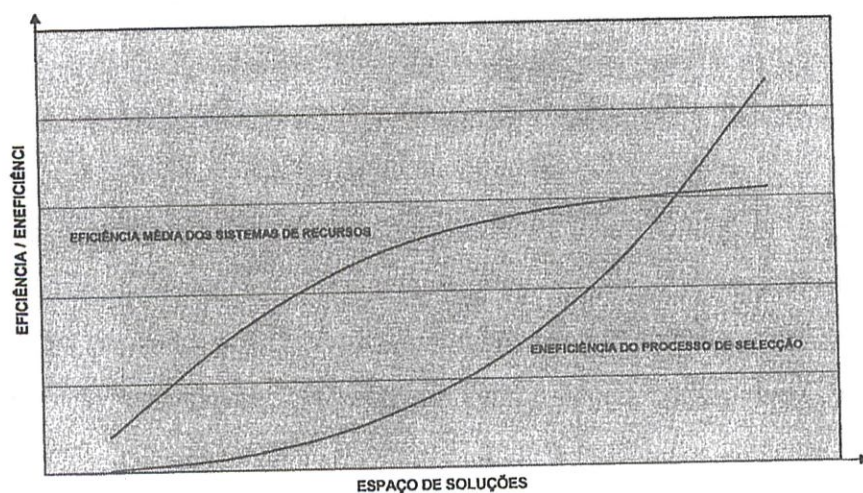


Figura 3 - Análise qualitativa da eficiência média dos sistemas de recursos versus a ineficiência do processo de selecção.

3.2 MODELO DE SELECÇÃO

Independentemente da dimensão do espaço de soluções, duas abordagens limites podem ser utilizadas para definir o modelo da selecção do sistema de recursos do sistema EA/V. Uma abordagem que passa pela análise do desempenho do sistema de recursos como um todo, e a este modelo designaremos por modelo de selecção integral, e a outra abordagem limite que analisa tarefa a tarefa ou tarefas associadas, o desempenho dos recursos integrados, ao qual designaremos por modelo de selecção fraccionada.

Def. 10 - Modelo de selecção integral - modelo de selecção que define o sistema de recursos integrados do sistema EA/V em função do seu desempenho na execução total de todas as tarefas pertencentes ao plano de tarefas do ciclo de produção do produto.

No caso de se tratar do *modelo de selecção integral*, a complexidade máxima do nosso problema de selecção, que se verificará se recorrermos à enumeração completa, será exponencial, nomeadamente,

$$\text{Complexidade_modelo_selecção_integral} = f(X^{3n})$$

Def. 11 - Modelo de selecção fraccionada - modelo de selecção que define o sistema de recursos integrados do sistema EA/V em função do seu desempenho por associações de tarefas pertencentes ao plano de tarefas do ciclo de produção do produto.

Segundo este modelo podem-se associar k tarefas desde uma a uma até $k = n$ com n o n° total de tarefas do plano de tarefas, e seleccionar os recursos integrados que melhor desempenho apresentem para essas associações de tarefas. Na situação limite da associação ser de n tarefas, caímos no primeiro modelo, i. e., no modelo de selecção integral. Por forma a analisarmos a complexidade deste modelo, vamos recorrer à figura 4 que faz o desdobramento da associação de tarefas com vista à determinação da complexidade para cada caso, e considerando que o número de recursos integrados por tarefa é constante e igual a X^3 . Vemos então que a complexidade varia desde um valor mínimo nX^3 (para $k = 1$) até um valor máximo $X^{n \times 3}$ (para $k = n$), i.e., a complexidade passa progressivamente duma função polinomial para uma função exponencial, cuja expressão geral é,

$$\text{Complexidade_modelo_selecção_fracionada} = f(nX^{k \times 3})$$

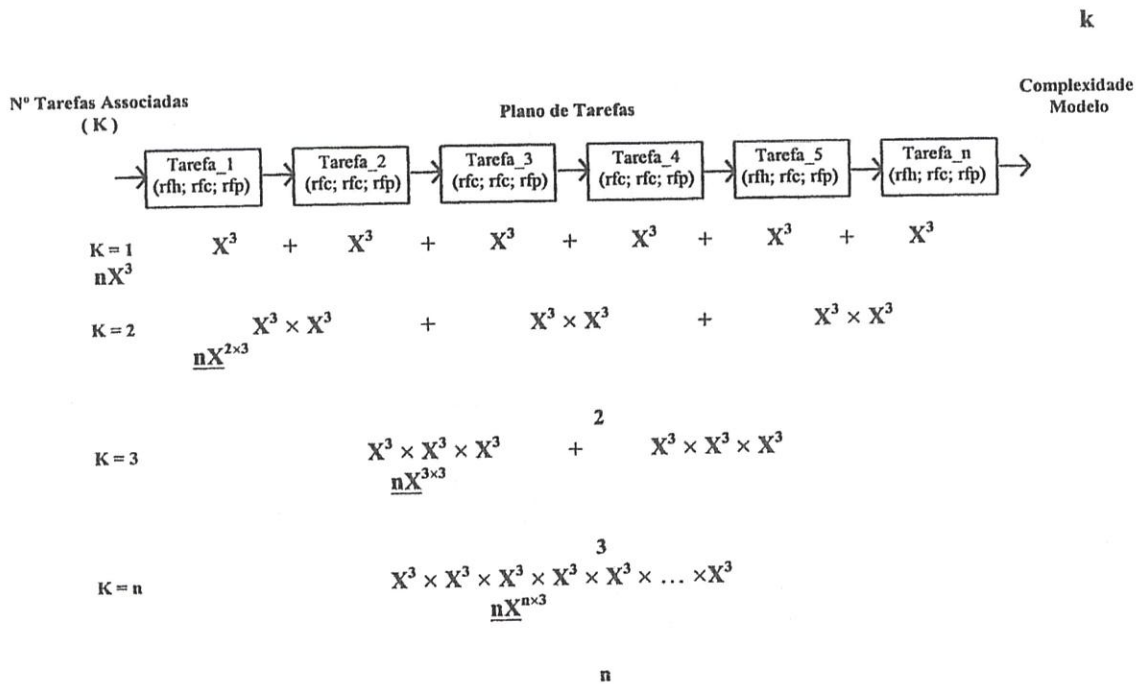


Figura 4 - Análise da variação da complexidade do modelo de selecção fracionada.

3.3 ALGORITMO DE SELECÇÃO

No que se refere aos algoritmos a utilizar na abordagem ao problema da selecção do sistema de recursos, passa pelo emprego de algoritmos com maior eficiência do que a enumeração completa, e que normalmente se desenvolvem no âmbito da disciplina de Investigação Operacional. Nós pensamos na possibilidade de utilização de algoritmos já existentes, pertencentes à programação inteira e à programação dinâmica, ou até no desenvolvimento de outros algoritmos para modelar sistemas "multi-agent", quer no âmbito da inteligência Artificial, já focados por Luiz Spinosa (1997) no modelo criado para coordenação de empresas virtuais no contexto do projecto Prodnet, quer no âmbito dos "evolutionary algorithms", também já utilizados por Subb Raj (1999). No entanto na aplicação destes dois algoritmos apontados, não foram definidas as dimensão dos espaços de soluções dos problemas, o que não nos garante a sua eficiência para o nosso caso.

4. Conclusão

A importância de definição e implementação de novas ferramentas teóricas e práticas para o projecto, implementação e operação de empresas EA/V é indispensável para garantir a sua implementação real e eficiente, assim como a sua consequente

propagação. No seguimento desta comunicação fica realçada a importância do desenvolvimento de ferramentas de selecção eficientes para resolver o problema de selecção de sistemas de recursos integrados para o projecto EA/V, apontando-se como estratégias a limitação da dimensão do espaço de soluções e/ou a utilização de modelos de selecção fraccionada e/ou desenvolvimento de algoritmos mais eficientes que a enumeração completa.

BIBLIOGRAFIA

Agrawal A., Graves R. J. 1999. *A Distributed Systems Model for Estimation of Print Circuit Board Fabrication Costs*. Production Planning & Control, Vol. 10, Nº 7, p. 650-658.

Ávila P. 1998. *Contribuição ao problema da Selecção de Sistemas de Recursos de Processamento Para o Projecto de um Sistema de Produção Virtual/"OPIM"*. Universidade do Minho, Braga. Tese de Mestrado.

Cunha M., Putnik G, Ávila P. 2000. *Towards Focused Markets of Resources for Agile/Virtual Enterprise Integration*. Proceedings of Basys 2000 - Advances in Networked Industrial Enterprise.

Spinosa L. M. et al. 1997 *An Oriented Decision Support System Model for Virtual Enterprise Coordination*.

Putnik G. D. 1997. *Towards OPIM System*. Cairo: Proceedings of the 22nd ICC&IE Conference - Computers & Industrial Engineering, (M. A. Younis, S. Eid; Eds.).

Putnik G. D. 2000. *BM_Virtual Enterprise Architecture Reference Model*.

Putnik G. D., Ávila P. 2000. *Towards OPIM System - Part II: Results of the OPIM System Design Simulation and an Applicability Analysis*. (submetido a publicação).

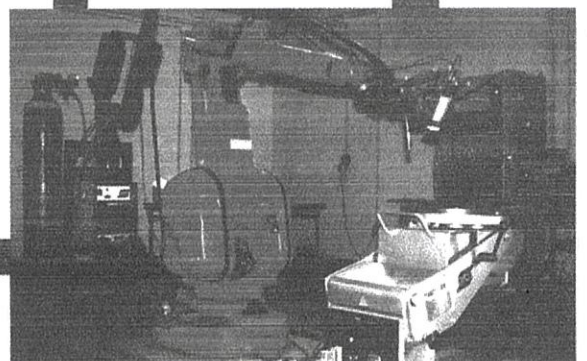
Raj Subbub, et al. 1999. *Evolutionary Decision Support for Distributed Virtual Design in Modular Product Manufacturing*. Production Planning & Control, Vol. 10, Nº 7, p. 627-642.



2º ENCONTRO NACIONAL DO COLÉGIO DE ENGENHARIA MECÂNICA

COIMBRA

15 e 16 de Dezembro de 2000



COMISSÃO ORGANIZADORA

Colégio Nacional e Colégios Regionais de Mecânica

Eng^o Rogério Augusto Fernandes Martins

Eng^o Aires Barbosa Pereira Ferreira

Eng^o Jorge Manuel Martins Borrego

Eng^o Eduardo Alberto Moreira de Carvalho

Eng^o José António Ferreira Ribeiro Pinto

Eng^o Jeremim Manuel Marques Melo Martins

Eng^o Altino de Jesus Roque Loureiro

Eng^o Fernando Lopes Barroso

Eng^o Joaquim Alberto Lopes Feio

Eng^o José Luís Mendes Pinheiro Veloso

Eng^o António José Coelho dos Santos

Eng^o António Manuel Matias

COMISSÃO EXECUTIVA

Eng^o Altino Loureiro

Eng^o Fernando Barroso

Eng^o Joaquim Feio



Patrocínios:



adira
A. E. A. S. RANOS

SEW
EURODRIVE

STORAENSO



Huf