

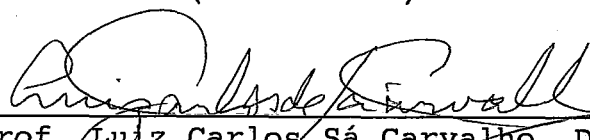
UM ESTUDO DO PROCESSO DE DIFUSÃO DE ENGENHARIA DE SOFTWARE:  
O CASO DA PETROBRÁS

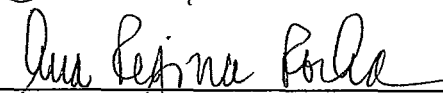
Paulo Eustáquio Duarte Pinto


TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE SISTEMAS.

Aprovada por :

  
Prof. Fátima (Janine) Gaio, Ph.D.  
(Presidente)

  
Prof. Luiz Carlos Sá Carvalho, D.Sc.

  
Prof. Ana Regina C. Rocha, D.Sc.

  
Prof. Lídia Micaela Segre, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
ABRIL DE 1993

PINTO, PAULO EUSTAQUIO DUARTE

Um estudo do processo de difusão de Engenharia de Software: O caso da Petrobras [Rio de Janeiro] 1993. VIII, 142p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia de Sistemas e Computação, 1993)  
Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Engenharia de Software
  2. Difusão de inovações
  3. Administração de Inovações
- I. COPPE/UFRJ    II. Título (série)

São identificados e discutidos fatores relevantes ao processo de difusão de Engenharia de Software, em uma grande empresa usuária de informática, a partir do estudo de 10 casos de adoção de inovações nessa área. São, também, comparados os resultados encontrados com aqueles relativos a estudos empíricos sobre a difusão de inovações em geral.

Para  
Pedro e Luciana

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

UM ESTUDO DO PROCESSO DE DIFUSÃO DE ENGENHARIA DE SOFTWARE:  
O CASO DA PETROBRÁS

Paulo Eustáquio Duarte Pinto  
ABRIL DE 1993

Orientador: Fátima Janine Gaio  
Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

O software é uma tecnologia muito recente, cuja natureza não é completamente compreendida até hoje. O desenvolvimento de software é um processo complexo mas realizado, ainda, de forma muito artesanal. A melhoria desse processo tem-se constituído num desafio, a nível mundial, para governos, universidades e empresas. A Engenharia de Software é uma corrente de inovações que visa profissionalizar esse processo e têm sido feitos imensos esforços para seu desenvolvimento e difusão. A despeito desses esforços, a difusão dessas inovações permanece baixíssima nas empresas usuárias.

O conhecimento sobre difusão de inovações em geral ainda é pequeno e muito fragmentado, pois a difusão é um fenômeno abrangente, imerso em um universo de questões econômicas, sociais, políticas e institucionais. Entretanto, há alguns estudos empíricos sobre o mesmo. Este trabalho pretende contribuir para a compreensão da difusão de Engenharia de Software, buscando contrastar conhecimentos empíricos acumulados sobre difusão em geral com situações observadas de adoção de inovações de Engenharia de Software.

Foram selecionados 20 fatores considerados relevantes ao processo de difusão como alvo de estudo em 10 iniciativas de adoção de inovações ligadas a Engenharia de Software, em uma grande empresa usuária de informática. Os fatores escolhidos são em três áreas ligadas a questões empresariais: estratégia tecnológica de empresas, organização para a inovação e percepções dos decisores sobre atributos das tecnologias. Procurou-se contrastar as relevâncias observadas para esses fatores escolhidos com aquelas indicadas na literatura para difusão de inovações em geral, buscando caracterizar os aspectos específicos da difusão de Engenharia de Software.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

A SOFTWARE ENGINEERING DIFFUSION PROCESS STUDY:  
THE CASE OF PETROBRAS

Paulo Eustáquio Duarte Pinto  
APRIL, 1993

Thesis Supervisor: Fatima Janine Gaio  
Department: Systems Engineering

Software is a rather recent technology and its nature is not entirely understood up to now. The software development process is a very complex one, still done in a craft basis. The improvement of this process remains a challenge throughout the world, governments, universities and enterprises. Software Engineering is a stream of innovations which aims to turn this process into something more professional. Throughout the world, a huge effort has been done in behalf of its development and diffusion. In spite of all efforts, the diffusion of these innovations is still low, in user firms.

The knowledge about diffusion of innovations in general is still small and fragmented, for the diffusion is a phenomenon immersed in a universe of economical, social, political and institutional matters. Nevertheless, there are some empirical studies about it. This work intends to contribute to the understanding of the diffusion of Software Engineering, by comparing the empirical knowledge gained about diffusion in general with observed situations in the adoption of innovations related to Software Engineering.

We have selected 20 factors considered relevant to the diffusion process as the aim of our study of 10 initiatives for the adoption of innovations related to Software Engineering in a big enterprise user of information technology. The chosen factors concern three areas related to enterprise matters: corporate technology strategy, organization for innovation and point of views about technology attributes. We compared the relevance observed for these factors with those found in specialized literature about diffusion of innovation in general, by characterizing the specific aspects of diffusion of Software Engineering.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível graças à colaboração de um grande número de pessoas, às quais agradeço sinceramente.

Em primeiro lugar, a grande dedicação e o incentivo da minha orientadora, Fátima Janine Gaio, que voltou do seu doutorado no exato momento em que eu começava a definir esta tese e pude, então, ser o seu primeiro orientado.

Aos professores da COPPE, em especial a Lídia M. Segre e Ana Regina C. Rocha, cuja seriedade profissional e enorme capacidade de trabalho aprendi a apreciar.

A César G. Neto, da COPPEAD, com quem pude iniciar o estudo da administração da inovação tecnológica, fundamental para esta pesquisa.

A Luiz Carlos Sá Carvalho, fonte inesgotável de informações técnicas e humanísticas, que despertou meu interesse para o estudo das questões de administração da tecnologia.

Aos amigos e colegas Ana Cecília B. V. Freire, José C. Macedo e Gilza de Melo, pelo interesse constante neste trabalho, pelas revisões de texto e idéias fornecidas.

Aos colegas do SEQUAL pelo apoio e paciência de conviverem com um mestrando mergulhado num trabalho infundável.

Devo um agradecimento especial a muitos técnicos e gerentes da Petrobrás. Ao Superintendente do SERINF, Manoel Coelho de Segadas Vianna e a meu gerente imediato, José A. Blanco de Carvalho, pelo apoio continuado nos últimos anos e pelas valiosas entrevistas que me concederam. Agradeço, também, àqueles que entrevistei, pela generosa acolhida e pela grande transparência no relato de suas realidades. Dentre eles, destaco os seguintes: Renato Drawin, Francisco Nevares, Ricardo Mello, Fernando Matos, Alexandre Garcia, Flaviano L. de Oliveira, Marcos Xerez, Benito L. Fuschilo, Fernando A. S. Brasil, Luiz Eduardo S. Varella, Wandemir F. de Oliveira, Silvio S. Pinheiro, Ismael H. F. Santos, Edison Scatolin, Luiz. R. A. Varreto, Paulo Sérgio L. G. Ramos, Daniel P. Ramon, Sidney S. McKenzie.

Finalmente, quero registrar a imensa saudade do colega Gilson Sérgio Pires Ferraz e a tristeza de não poder dividir com ele a finalização do projeto de mestrado, nascido de um sonho comum.

## INDICE

Título	Pag.
1. INTRODUÇÃO	1
2. A INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E A EMPRESA	4
2.1 Invenção, inovação e difusão	4
2.2 Visões macroeconômicas e setoriais da difusão de inovações	9
2.3 Fatores tecnológicos determinantes da difusão de inovações	12
2.4 O papel da demanda na difusão de inovações	16
2.5 Resumo dos fatores determinantes da difusão de inovações	27
3. DIFUSÃO DE ENGENHARIA DE SOFTWARE	32
3.1 O software como tecnologia	32
3.1.1 A essência do software	32
3.1.2 Os marcos na história do software	35
3.1.3 O software e as complementaridades tecnológicas	38
3.1.4 O software como atividade econômica	43
3.2 A Engenharia de Software como inovação de processo	48
3.2.1 As propostas técnicas da Engenharia de Software	48
3.2.2 Visão do processo de produção em software	55
3.3 Estudos de difusão de Engenharia de Software	60
3.4 Fatores determinantes da difusão de Engenharia de Software	67
4. O ESTUDO DE CASO NA PETROBRÁS	72
4.1 Uma breve caracterização da Petrobrás	72
4.2 A Informática na Petrobrás	74
4.3 Iniciativas de adoção de inovação estudadas	81
5. RESULTADOS ENCONTRADOS	91
5.1 Aspectos da organização do desenvolvimento de sistemas na Petrobrás	91
5.2 Fatores determinantes da difusão de ES na Petrobrás	105
5.2.1 Tabelas de relevância e convenções adotadas	106
5.2.2 Análise do efeito global dos fatores	111
5.2.3 Análise da relevância de fatores relativamente ao corte por grau de difusão	115
5.2.4 Análise da relevância de fatores relativamente ao corte por tipo de aplicação	119
5.3 Resumo da análise de relevância de fatores	122
6. CONCLUSÕES	125
7. BIBLIOGRAFIA	129
8. ANEXOS	135
I. Metodologia	136
II. Questionário	139



## Capítulo 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de software é uma tarefa intrigante, desafiadora e fascinante, que requer atenção cada vez maior de empresas, universidades e governos. Desde o final dos anos 60, foi caracterizada a chamada "crise do software", uma constatação das imensas dificuldades na produção de software no volume e qualidade necessários às empresas.

Muitas imagens têm sido associadas ao processo de desenvolvimento de software. Uma delas, de autoria do Brooks [Broo87], associa esse processo ao comportamento de um lobisomem, que pode transformar-se, subitamente, de inocente e calmo para algo monstruoso. No caso do software, os projetos normalmente iniciam-se de forma tranquila e otimista. O aspecto monstruoso seria formado por prazos estourados, orçamentos multiplicados e produtos deteriorados. Para Brooks, o desenvolvimento de software é uma das tarefas mais complexas jamais empreendidas pelo homem.

Junto à conscientização da "crise do software", do final dos anos 60, nasceu, também, a proposta de Engenharia de Software, como um enfoque para vencer os problemas percebidos. Este enfoque vem se desenvolvendo desde então e consiste de uma corrente de propostas de inovações técnicas e gerenciais que visam dominar a complexidade do processo de desenvolvimento de software, tornando-o previsível, controlável e de qualidade. Retornando à imagem de Brooks, esse conjunto de inovações seria a bala de prata que mataria o monstro.

Desde 1968 têm sido propostos inúmeros métodos de desenvolvimento de software e de organização do trabalho, com destaque para os métodos estruturados. Mais recentemente, têm sido lançadas incontáveis ferramentas para auxílio ao processo. Na década passada foram iniciados grandes esforços nacionais de P&D em Engenharia de Software, alguns patrocinados pelos governos dos países desenvolvidos, outros por consórcios de grandes empresas particulares de informática, visando a ampliação do uso dessas técnicas. Constata-se, entretanto, com um certo desconsolo, que a difusão de Engenharia de Software mantém-se em níveis baixos, a despeito dos esforços realizados e que a "crise do software" permanece como um desafio.

Para melhor compreender os problemas da difusão de Engenharia de Software é importante recorrer aos conhecimentos existentes sobre inovações em outras áreas tecnológicas. Os estudos na área de Economia Industrial levam à constatação de que a difusão de

tecnologias é de natureza ampla e complexa. Para sua compreensão devem ser consideradas questões de natureza diversificada tais como institucionais, políticas, econômicas e administrativas. Apesar de se ter ainda pouco conhecimento sobre inovação, em geral, e sobre o processo de difusão, em particular, os estudos e constatações empíricas dessa área podem ajudar na compreensão da difusão de Engenharia de Software.

O objetivo do presente trabalho é investigar o processo de adoção de inovações de Engenharia de Software, buscando caracterizar os fatores relevantes ao mesmo. Para a investigação empírica, foi escolhida como alvo de observação, a Petrobrás. Trata-se de uma empresa brasileira de grande porte e usuária de informática, em larga escala. Além disso, há indicadores de que nessa empresa têm sido feitos muitos esforços de adoção desse tipo de tecnologia. Um conjunto diversificado desses esforços foi selecionado para investigação, de tal forma que os fatores relevantes caracterizados nesses estudos de caso fossem significativos para a empresa como um todo. A metodologia adotada no trabalho empírico está descrita no Anexo I.

Já que a difusão de tecnologias é um assunto bastante amplo e ainda pouco estudado, considerou-se oportuno restringir o campo de observação desta pesquisa, escolhendo-se como foco de análise o lado da demanda das inovações, isto é, o estudo do processo de adoção de inovações, do ponto de vista do que ocorre na empresa.

É oportuno, também, salientar que este estudo é de natureza exploratória e que a análise efetuada é qualitativa. Parte do trabalho teve como base um conjunto de fatores considerados relevantes para a difusão de outras tecnologias. Buscou-se, então, verificar a permanência de sua relevância para o caso da Engenharia de Software e observar as particularidades envolvidas. Por outro lado, procurou-se estar aberto para que pudessem ser identificadas questões novas, não tratadas na literatura. A partir desta pesquisa poderiam ser realizados, no futuro, estudos mais focalizados e com ênfase estatística.

Uma importante ressalva a ser feita, com relação aos casos escolhidos para estudo, é que um deles não se enquadra, em termos rigorosos, na conceituação usual de Engenharia de Software. Trata-se de um caso de adoção da tecnologia de Sistemas Especialistas. Entretanto, como esse caso refere-se, também, a inovações no processo de desenvolvimento de aplicações, ele foi mantido no estudo.

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos. Nos capítulos 2 e 3 são apresentadas as revisões da literatura sobre aspectos gerais da difusão de inovações e sobre Engenharia de Software, respectivamente.

Os estudos de caso são descritos, de forma resumida, no capítulo 4. No início do capítulo, é feita uma caracterização geral da Petrobrás e das atividades de Informática nessa empresa, com ênfase no desenvolvimento de aplicações. Essa caracterização visa situar melhor os casos relatados.

No capítulo 5 são apresentados dois tipos de resultados. O primeiro deles é uma caracterização da atividade de desenvolvimento de aplicações na empresa, que consiste de uma síntese de aspectos comuns ou específicos, observados nos estudos de casos. O segundo é a identificação dos fatores relevantes à difusão de Engenharia de Software, comparada aos resultados da literatura revisada nos capítulos 2 e 3.

Finalmente, no capítulo 6, são apresentadas as principais constatações desta pesquisa, no que se refere a mecanismos favoráveis à difusão de Engenharia de Software, bem como a barreiras existentes.

## Capítulo 2. A INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E A EMPRESA

Neste capítulo elabora-se uma revisão da literatura geral sobre difusão de inovações, com ênfase na caracterização dos fatores envolvidos no processo.

O capítulo está dividido em 5 seções. Na primeira, o processo de difusão é caracterizado, de forma resumida. Nas três seguintes, são discutidas muitas questões relacionadas à difusão, partindo-se de uma visão macroeconômica, a nível mundial, até se chegar ao nível microeconômico, de empresas. O foco desta tese está dirigido ao nível microeconômico e ao lado da demanda das inovações. Ao longo dessas seções, são destacados diversos fatores relevantes à difusão. A última seção apresenta, de forma resumida, vinte fatores selecionados como importantes para objeto de estudo.

### 2.1 Invenção, inovação e difusão

O progresso técnico é indissociável da história do homem. A natureza de tal progresso é complexa e altamente interdisciplinar, podendo ser analisada sob inúmeros enfoques. Dentre os campos de estudo desse processo estão a Antropologia Social, a Ciência da Informação, a História da Tecnologia, a Economia e a Administração de Empresas. Entretanto, seu estudo mais sistemático é recente e tem sido realizado de forma isolada e fragmentada.

Rosemberg [Rose76] corrobora essa limitação sobre o conhecimento relativo a inovações, tendo comentado esse assunto, em 1976, sob a perspectiva econômica:

"...após 15 anos de estudo...nossa ignorância sobre a taxa com que inovações são adotadas e sobre os fatores responsáveis pela mesma se não é total, certamente não é razão de autocongratulação profissional..."

Bowker [Bowk89] caracteriza tal aspecto, do ponto de vista histórico:

"...a ciência industrial não tem história e prefere, provavelmente não tê-la. Nós poderíamos perguntar para que serviria dar-lhe uma. Antes de tudo, isso nos permitiria estimular a reintegração dessa ciência em nossa cultura enquanto objeto social fabricado, e de melhor compreender nossa sociedade e o mundo natural."

Já existe um conjunto de estudos e resultados setoriais sobre difusão de inovações que podem orientar na formulação de hipóteses a serem testadas em estudos de casos, o que é justamente um dos objetivos do presente trabalho. Entretanto, permanecem uma série de hiatos e limitações na literatura atual sobre o assunto, conforme afirma Rosenberg. O que só vem salientar a oportunidade do presente trabalho que pretende utilizar teorias de inovação do campo da Economia da Tecnologia (notadamente Processos de Inovação e Difusão de Tecnologias) e do campo da Administração de Empresas (notadamente Administração das Inovações Tecnológicas).

Schumpeter [Schu39] foi um dos pioneiros do estudo de inovações e sua distinção entre invenção, inovação e difusão é amplamente difundida.

Segundo o autor, a invenção de um novo produto ou processo ocorre na esfera técnico-científica e pode aí permanecer para sempre. A inovação é a primeira introdução comercial da invenção, sendo, portanto, um fato econômico. A difusão é a adoção em escala ampla e é o que transforma a invenção num fenômeno econômico-social.

Mais recentemente, elaborou-se uma distinção importante entre inovações radicais e inovações incrementais. Por exemplo, Perez [Pere86] conceitua inovação radical como a introdução de um produto ou processo inteiramente novo, sendo pouco provável que ela resulte de esforços para melhorar uma tecnologia existente. Inovações incrementais são as melhoras sucessivas a que são submetidos os produtos e processos ao longo de sua trajetória na economia. As melhorias na eficiência técnica, na produtividade e na precisão dos processos, bem como as mudanças em produtos para elevar sua qualidade ou reduzir custos ou, ainda, ampliar a gama de possíveis usos caracterizam a dinâmica evolutiva das tecnologias.

Na literatura existente, os fatores que distinguem a invenção da inovação ainda não estão suficientemente estudados. Ressaltam-se, no entanto, grandes variações no lapso de tempo que separa uma da outra. Enos [Enos62] mostrou que, para 46 inovações radicais, 11 delas ligadas a refino de petróleo, o tempo médio de intervalo entre invenção e inovação foi de 11 anos. Para a lâmpada fluorescente esse tempo foi de 79 anos; para a colhedeira de algodão, 53 anos; para DDT e "Long playing", 3 anos; para refrigeradores a freon, 1 ano. Rosenberg [Rose76] critica a preocupação excessiva com esses períodos pois vê grande arbitrariedade na datação de uma invenção (É a mais remota concepção ocorrida? Neste caso, Galileu seria o inventor do relógio de pêndulo, quando conceituou seus princípios essenciais,

mesmo que tal relógio não tenha sido construído durante sua existência?).

Para Rosenberg [Rose82], do ponto de vista do impacto econômico das inovações, é o processo de difusão que deve ser o foco de análise e não aspectos históricos como datações e caracterização de pioneiros.

Considerando-se inovações de produto, a história de sua difusão está associada a um processo contínuo de alterações tecnológicas e de engenharia. Alterações essas que visam satisfazer requisitos especializados dos vários segmentos de mercado, como também a introdução de insumos e tecnologias complementares que afetam, decisivamente, a utilidade econômica potencial da inovação original.

A difusão de produtos ou processos costuma ser associada a um determinado padrão conhecido como "curva S". Esta curva tem, no eixo vertical um aspecto quantitativo (vendas ou produção associada) e no horizontal o tempo, como mostrado no exemplo da Fig 2.1. No início, a difusão é lenta; acelera-se durante um certo período intermediário; volta a crescer lentamente, estacionando (maturação); finalmente, entra em declínio.

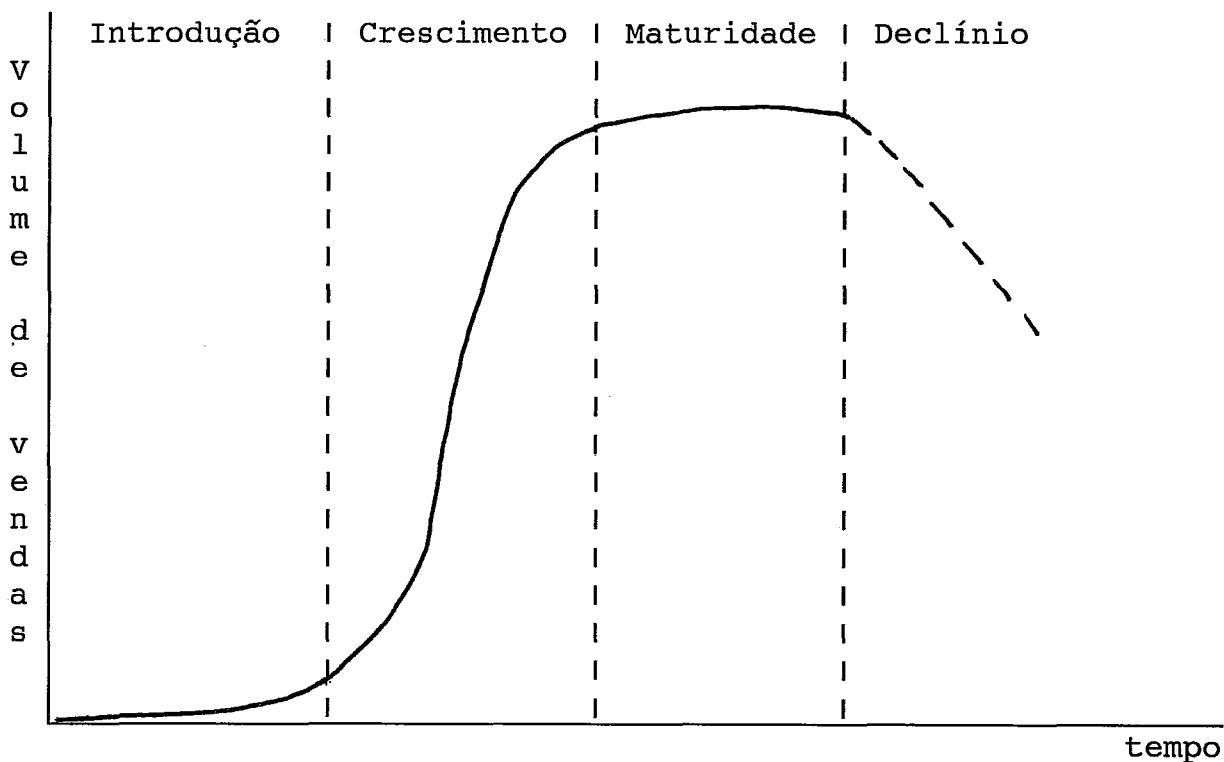


Fig 2.1 Ciclo de vida típico de um produto  
Fonte: Twiss [Twi82] (pag. 41)

Um padrão assemelhado também costuma ser associado à evolução da tecnologia em si e, neste caso, o que se plota no eixo vertical é algum parâmetro físico do desempenho da tecnologia. Por exemplo, no caso de discos magnéticos do tipo Winchester para uso em computadores, tal parâmetro de desempenho poderia ser o de densidade de gravação de dados no disco. O final da curva "S" indica, então, o limite físico da tecnologia quando, muito provavelmente, outra tecnologia substituta estará já em gestação ou em início de difusão. Atualmente isto está ocorrendo com a tecnologia de discos magnéticos mencionada, para a qual já é muito difícil o aumento da densidade de gravação de dados. Ela começa a ser substituída pela tecnologia ótica, que permite aumentos significativos na densidade de gravação de dados.

Utterback e Abernathy [Utte75] discutiram esse padrão de 3 estágios na evolução de uma tecnologia. A maioria das tecnologias inicia-se num estágio "fluido", dominado por frequentes inovações de produtos; passa para o estágio de "transição", caracterizado por uma ênfase crescente em inovações de processo e o aparecimento de um ou poucos produtos dominantes; atinge o estágio de maturação, quando o processo perde o dinamismo, envolvendo uma pequena taxa de inovações de produto e processo. Twiss [Twis80] enriquece essa visão, apontando que essa trajetória depende do investimento feito na tecnologia e também que, em dado momento, inicia-se o desenvolvimento de uma tecnologia substituta. Isto está exemplificado na Fig 2.2.

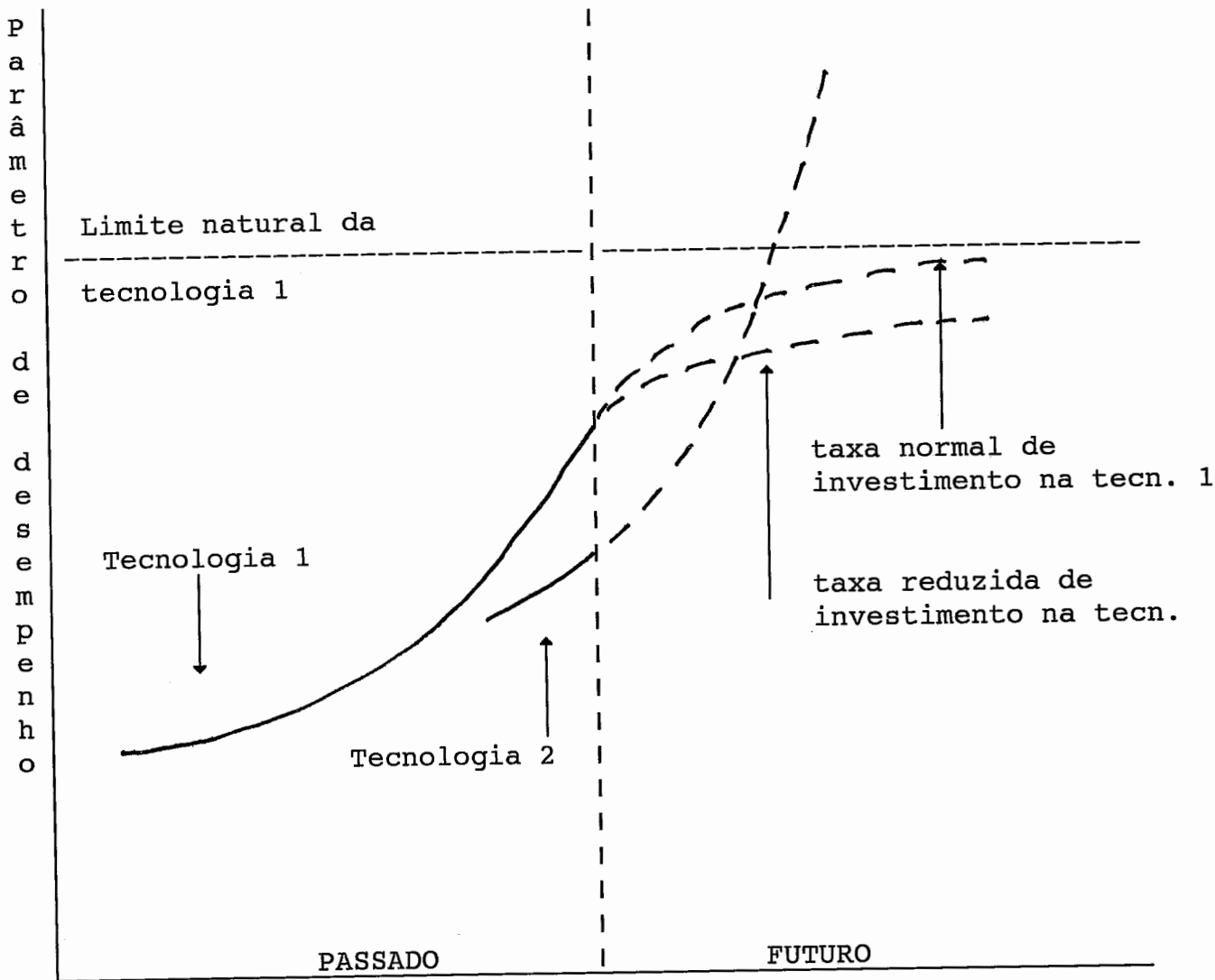


Fig. 2.2 - Trajetórias de tecnologias  
 Fonte: Twiss [Twis80] (pag. 219)



## 2.2 Visões macroeconômicas e setoriais da difusão de inovações

Há um corpo de literatura crescente que trata a difusão de inovações num contexto macroeconômico, levando em conta questões econômicas, sociais, políticas e institucionais, dentro de um enfoque Schumpeteriano. Na visão de Rosenberg & Frischtak [Rose83], apresentada a seguir, encontramos um resumo dos pontos principais desse enfoque.

Considerando-se longos períodos históricos, as economias capitalistas experimentam variações significativas no seu desempenho agregado. Em 1925, Kondratieff sugeriu a existência de ciclos longos compostos de ondas de prosperidade e depressão no desenvolvimento econômico e social. Mais tarde, Schumpeter foi o principal e influente articulista da interpretação de que os ciclos longos são influenciados pelo processo de inovação.

Até a atualidade, essas teorias ainda são fruto de controvérsias e, apesar de Rosenberg & Frischtak aceitarem o princípio das mesmas, argumentam que nenhum autor especificou, claramente, as relações causais que conectam a inovação, investimento e taxas de crescimento.

Adicionalmente, Danino [Dani86] esclarece que é durante as crises cíclicas de longo prazo que começa a ser introduzido o conjunto de inovações tecnológicas que irá revolucionar a produção e oferecer novas oportunidades de investimento e crescimento futuro. Num estágio inicial, tal introdução tende a desorganizar o sistema produtivo, dentro de um processo denominado "destruição criadora", permitindo aos inovadores um lucro diferencial, eliminando os produtores ineficientes e desencadeando a recessão.

Embora existam outros fatores que, elevando a taxa de lucro, determinam o surgimento e a difusão de inovações, pode-se correlacionar os períodos de crescimento com grandes transformações tecnológicas.

Para Dosi [Dosi82], um novo ciclo de inovações origina-se da emergência de um novo "paradigma tecnológico", que vem a ser "um padrão de solução de determinados problemas tecnológicos, baseado em determinados princípios derivados das ciências naturais e em determinadas tecnologias materiais". A emergência de um novo paradigma é endógena ao macroambiente. Tipicamente tecnologias competem entre si: aquela que melhor atende às necessidades econômicas gerais e fatores sociais e institucionais será selecionada. Tecnologias integram-se e agrupam-se em torno do padrão

e passam a constituir sistemas tecnológicos.

Perez [Pere86] também desenvolve esses conceitos e defende a idéia de que o atual paradigma tecnológico vigente seja a microeletrônica.

Há poucos artigos empíricos nesta linha. Um deles é o de Cainarca et alii [Cain89] que examina o caso da automação flexível de empresas metalúrgicas italianas, usando uma grande amostra dessas empresas. Considera, mostrando uma série de resultados, que a automação flexível vem a ser um novo paradigma tecnológico para a produção (ampliando um pouco o conceito de paradigma dos autores mostrados). Verificou-se que o período atual consiste da fase de adoção ampla no ciclo de vida da nova tecnologia. Após a adoção pioneira no início da década de 80, o estágio atual é de "explosão", onde o potencial da nova tecnologia se manifesta. Identificou-se uma série de ocorrências previstas na emergência de um novo padrão: grande variedade de tecnologias competidoras, com vitória das tecnologias baseadas na automação flexível; grande número de formas e grande integração dessas tecnologias.

Outro ramo de estudos sobre difusão adota uma ótica setorial.

Em "Difusão de inovações na indústria brasileira: 3 estudos de casos" [Ipea76] são feitos estudos setoriais de difusão para as indústrias têxtil, de papel e de cimento, no Brasil. Essas pesquisas foram editadas pela FINEP e visavam analisar, a partir de uma ótica setorial, qual o papel do progresso técnico no âmbito interno do setor, bem como de sua interação com as características econômicas específicas de cada ramo de produção. Como consequência, os estudos poderiam apoiar a implementação de uma política de ciência e tecnologia coerente com uma política industrial.

A abordagem seguida no trabalho procurou tratar a escolha de técnicas e o processo de difusão como problemas distintos, tendo mostrado que os fatores explicativos desse último fenômeno estão mais ligados a características do comportamento do setor industrial do que a peculiaridades da inovação.

No caso da indústria têxtil, estudou-se a adoção do tear sem lançadeira. Concluiu-se, de uma maneira mais geral, que a heterogeneidade tecnológica verificada no setor não constitui um obstáculo ao crescimento da indústria têxtil, que deva ser superado através de medidas de estímulo à modernização generalizada mas, sim, um mecanismo de adequação do setor às características mais amplas do processo de crescimento da economia brasileira. As sugestões

resultantes de políticas para o setor se voltam mais para as possibilidades de expansão dos mercados de produtos têxteis do que para sua "modernização" a todo custo, que o estudo considera prejudiciais pois, além de não resolverem os problemas de crescimento, costumam aumentar as desigualdades internas.

No caso da indústria de papel, estudou-se a difusão de prensas especiais no Brasil, tendo-se concluído que a introdução de uma inovação não é, por si só, fator decisivo na definição da estrutura industrial ou na diferenciação de comportamento entre empresas do setor. A introdução desse tipo de prensas seguiu apenas o movimento de demanda de novas máquinas, totalmente descaracterizado como decisão isolada de investimento. Constatou-se que a principal arma de competição setorial tem sido a integração para controle das matérias primas. Os problemas de progresso técnico encontravam-se nas etapas prévias à produção de papel, ou seja, na produção de celulose, pois não estavam ainda identificadas e implementadas formas mais permanentes de internalizar tanto a concepção global do empreendimento como a tecnologia de fabricação.

No caso do cimento, também se concluiu com sugestões globais para o setor.

Outro exemplo de estudo dessa linha é o de Lancaster & White [Lanc77], que estudaram a difusão de têxteis químicos e corantes na indústria têxtil britânica e, embora estivessem mais interessados no estudo da importância da comunicação na difusão (especialmente a influência da opinião de firmas inovadoras), encontraram, como fatores mais importantes para a difusão:

- a) O relacionamento estreito e profissional entre fornecedores e compradores.
- b) A legislação contra poluição e produtos cancerígenos, favorecendo a substituição de produtos.
- c) A atitude favorável às inovações, por parte dos compradores, por se tratarem de pessoas altamente especializadas.
- d) Características do mercado que permitiam a existência de inúmeras pequenas firmas, atendendo nichos de mercado.

## 2.3 Fatores tecnológicos determinantes da difusão de inovações

Em outra linha de artigos sobre difusão, busca-se identificar fatores gerais considerados relevantes à difusão de tecnologias. A seguir são comentados os exemplos significativos dessa linha de estudos encontrados, ressaltando-se aqueles fatores mais ligados à tecnologia em sí.

Rosemberg, um dos pioneiros neste tipo de estudo, descreveu, em 1976 [Rose76], uma série de fatores tecnológicos determinantes da difusão.

Ele ressaltou, entretanto, que os fatores apontados derivam de uma análise histórica. São muito mais uma proposta para posteriores pesquisas do que conclusões baseadas em verificações empíricas. Os fatores tecnológicos importantes na difusão, para ele, são:

### a) Melhorias nas invenções após sua introdução

É certo que as invenções, na sua introdução inicial no mercado, são geralmente muito imperfeitas e constituem apenas leves melhoras em relação às antigas técnicas. Segue-se que o passo com que as melhoras nas invenções são feitas constituem um fator determinante na difusão. Em inúmeros casos, verifica-se que as vantagens de novas tecnologias só são realmente efetivadas com a incorporação dessas melhorias. Enos [Enos62] exemplifica este aspecto mostrando que na introdução de novos processos no refino de petróleo (tais como craqueamento térmico, polimerização, craqueamento catalítico, reforma catalítica) as melhorias representaram reduções de custos três vezes superiores que a conseguida com a introdução inicial das inovações.

Por outro lado, novas utilizações de uma inovação, não previstas na sua introdução, podem ter papel importantíssimo na difusão. Afirma-se, por exemplo, que Thomas Edison, quando inventou o fonógrafo, imaginava que o seu uso principal seria na gravação dos desejos finais de moribundos.

### b) Capacitação técnica dos usuários

Em paralelo às melhorias técnicas nas inovações, o desenvolvimento de habilidades humanas na utilização das mesmas é fundamental para que elas sejam efetivamente exploradas. Cada tecnologia envolve um tempo de aprendizado que depende de muitos fatores, incluindo a complexidade da tecnologia, o grau de novidade que ela representa, a possibilidade de transferência de habilidades já disponíveis em outra indústria etc. As formas como essas habilidades podem ser adquiridas também são relevantes ao

processo de difusão. Geralmente há muito conhecimento somente adquirido com a prática, no contato dia a dia com o processo de trabalho, pois muitas vezes esse conhecimento não está codificado não podendo, então, ser obtido pela educação formal.

c) Capacitação técnica na produção de equipamentos

O sucesso das invenções, nas economias industrializadas, tem requerido, sobretudo, crescimento na capacidade de projetar, adaptar e produzir, a baixo custo, máquinas para usos altamente especializados. Cada invenção importante entra em um período de gestação variável enquanto a indústria de bens de capital adapta-se às necessidades e requisitos da nova técnica. Desta forma, o ritmo do avanço técnico nos setores usuários pode, então, depender criticamente de eventos no setor de bens de capital.

d) Complementaridades

A complementaridade entre diferentes tecnologias tem, também, um papel destacado na difusão. Em geral, uma dada invenção não consegue atingir todo o seu potencial enquanto outras invenções complementares não superarem "gargalos" que inibam sua difusão ou expansão, dentro de um processo que poder-se-ia denominar "simbiose tecnológica". Como exemplo, a construção de pontes nos EUA e na Inglaterra no contexto da expansão ferroviária do século passado, trouxe inúmeros problemas aos engenheiros, no tocante a projeto, cálculo de estruturas e materiais necessários. Havia imensos desafios novos, pois eram colocados requisitos sem precedentes quanto a tensões, dureza e resistência a fogo, dentre outros. Na Inglaterra, como consequência, estudou-se sistematicamente o aço como material de construção e o conhecimento adquirido possibilitou uma utilização ampla do aço como material de construção, não só para pontes, mas também para navios, edifícios, guindastes, turbinas etc.

e) Melhorias em tecnologias antigas

A introdução de uma nova tecnologia pode disparar um processo competitivo, caracterizando-se como um grande estímulo para o aperfeiçoamento de tecnologias antigas. Quando melhoradas, tais tecnologias podem até adquirir uma sobrevida no mercado por um longo prazo, dado o aumento de eficiência obtido. Ter-se-á, então um retardo na difusão da inovação. A história está cheia de exemplos nessa linha como, por exemplo, no caso das máquinas a vapor, no século XIX, cuja difusão foi muito lenta no início porque os moinhos a água melhoraram muito seu desempenho, frente à nova ameaça, principalmente pela introdução do aço em sua

fabricação. Esses moinhos ainda continuaram sendo usados durante muitos anos, até serem substituídos pelas máquinas a vapor. A história também está cheia de fracassos nas tentativas de prolongar a vida de uma tecnologia antiga, como aconteceu, por exemplo com a substituição das válvulas por transistores, na indústria eletrônica. Neste caso, nenhum dos 10 maiores fabricantes de válvulas dos anos 60 é hoje uma força na indústria de semicondutores. Foster [Fost86] narra os esforços da Sylvania, empresa líder de válvulas no final da década de 60, no desenvolvimento de válvulas sofisticadas para competirem com os transistores, mas que redundaram em grande fracasso.

O aspecto levantado por Rosemberg de que uma inovação passa, necessariamente, por um processo continuado de aperfeiçoamentos, tem implicações importantes no processo de difusão, além de relacionar-se de forma significativa aos produtores da inovação. A percepção dessas empresas sobre as possibilidades de lucro basear-se-ão, dentre outros fatores, no ritmo da difusão. No caso de difusão lenta, o produtor pode não ter interesse ou recursos para a investir de forma contínua na melhoria da inovação e, assim, influenciar de volta nesse ritmo, como ressaltava Metcalf [Metc81]: "a lucratividade influencia o ritmo da difusão, mas igualmente o ritmo da difusão afeta a lucratividade".

Rosemberg [Rose76] aponta também que o produtor pode não ter a capacitação tecnológica para efetuar as mudanças necessárias na inovação, em seguida à sua introdução no mercado. Segue-se, portanto, que a capacitação e os recursos do produtor da tecnologia são fortes determinantes do ritmo da difusão de inovações.

Ray [Ray89] realizou importantes estudos de difusão, em três grandes etapas, para um grupo de dez tecnologias de processo, em seis países altamente industrializados, tendo acompanhado a difusão das mesmas ao longo de vários anos.

Na primeira etapa de estudos, o objetivo foi o de avaliar o escopo e a extensão da difusão de certas tecnologias, nos países escolhidos, estabelecendo as diferenças internacionais no nível e no ritmo da difusão.

Na segunda etapa, o estudo foi restrito a seis das dez tecnologias, aprofundando-se certas questões. O objetivo passou a ser o de busca de informações sobre:

- a) Medidas de difusão como ponto inicial principal.
- b) Os desenvolvimentos técnicos e outras inovações secundárias que ajudam a aplicação mais ampla das tecnologias consideradas.

- c) As razões para difusão rápida ou lenta de uma tecnologia, com uma explicação , quando aplicável, da sobrevivência de tecnologia anterior, mais tradicional.
- d) Quaisquer fatores específicos que promovem ou atrasam a adoção ampla.
- e) O efeito do tamanho do investimento requerido na adoção do processo.

Na terceira etapa, o estudo visava, sobretudo, seguir a rota da difusão das tecnologias até a saturação do seu uso.

Como conclusão dos três estudos, Ray apresenta uma extensa lista de pontos obtidos, que considera gerais:

- a) As tecnologias "indivisíveis" (caracterizadas por geralmente usarem equipamentos de larga capacidade, não sendo possível a adoção gradual ,mas sendo para a empresa uma questão de passar inteiramente para a nova tecnologia ou não) já tinham atingido a "saturação" ou estavam em vias de atingí-las, no período de cerca de 30 anos. Para as tecnologias "divisíveis" isso não ocorreu, isto é , não se atingiu a "saturação" no período . Para o autor, o que parece à primeira vista ser uma questão da tecnologia em sí, é, na verdade, mais uma questão do tipo do produto final envolvido. O primeiro tipo de tecnologia está associado a produtos padronizados e uniformes; o segundo não.
- b) O padrão de difusão geralmente segue o da curva S, conforme apresentado anteriormente, mas esta é irregular e sua forma varia para cada tecnologia e país.
- c) O estudo acentua a importância das inovações incrementais, que ampliam o escopo de uso da tecnologia e aumentam sua eficiência.
- d) Há casos em que a velha tecnologia é mantida. As razões podem ser o atendimento a propósitos específicos onde a velha tecnologia ganha em termos econômicos ou técnicos. Geralmente trata-se de escala pequena de produção.
- e) Há muitos fatores influenciando a difusão de novas técnicas. A lucratividade global é provavelmente a mais importante. Pode-se conseguir economia de trabalho, eficiência no uso de energia, melhor retorno, maior qualidade etc. Isto pode variar a nível microeconômico da empresa ou a nível macroeconômico do país. A atitude gerencial diante da inovação e a facilidade de acesso ao capital são de destacada importância. As decisões no nível

microeconômico que acabam resultando nas taxas de difusão nacional são particularmente importantes nas fases iniciais da difusão. As razões para retardamento ou rejeição da adoção de inovações podem ser racionais ou se deverem à falta de espírito inovador ou conservadorismo da força de trabalho. Tais características individuais perdem parte de sua força nos estágios posteriores da difusão: quando muitos concorrentes já aderiram à tecnologia há pouco risco em passar para esse lado. Pode até mesmo ser uma questão de sobrevivência.

- f) Indicadores macroeconômicos ajudam a explicar as diferenças internacionais da difusão, tais como as variações nas disposições institucionais, nos níveis de salários, nas taxas de crescimento da demanda, no tamanho do mercado doméstico.

#### 2.4 O papel da demanda na difusão de inovações

Para Dosi [Dosi85], o processo de difusão de uma inovação no setor usuário é, essencialmente, um processo de inovação e mudança tecnológica para o próprio usuário. Longe de ser uma simples decisão de usar e comprar, geralmente envolve um processo de aprendizado, modificação da organização de produção existente, e, geralmente, até mesmo modificação de produtos. Uma consequência crucial é que o processo de adoção de inovações é também afetado pelas capacidades tecnológicas, estratégias de produção e pelas formas de organização produtiva dos usuários.

Dentro dessa perspectiva, esta seção tem por objetivo realizar um levantamento de questões ligadas à decisão de adoção de inovações nas empresas e, também, de questões ligadas ao processo de adoção das mesmas. Estaremos, portanto, examinando fatores relevantes à difusão de inovações, principalmente do ponto de vista da demanda. O foco estará nas empresas enquanto consumidoras de tecnologias, desenvolvidas internamente ou não.

Serão discutidas questões em quatro áreas: estratégias tecnológicas, receptividade a inovações, escolha de tecnologias e sucessos e fracassos em inovações. O primeiro grupo de questões está ligado a decisões básicas e de longo prazo sobre tecnologias a serem utilizadas e formas de aquisição das mesmas; o segundo, a fatores organizacionais relacionados à gerência de tecnologias, especialmente nas empresas inovadoras; o terceiro procura identificar fatores nas decisões mais operacionais de escolha de tecnologias. O grupo final de questões é uma discussão de sucessos e fracassos em inovações, com



o pressuposto de que, de uma forma geral, sucessos favorecerão a difusão de tecnologias associadas à inovação bem sucedida, por maior ênfase da empresa em relação às mesmas ou por imitação de concorrentes e, de forma oposta, fracassos tenderão a ter impactos negativos sobre o ritmo de difusão.

Consideremos o primeiro grupo de questões. O reconhecimento efetivo da importância da tecnologia como fator estratégico para as empresas parece ser recente. Roberts [Robe88] afirma que somente nos anos 80 isto se deu e tem levado, então, empresas e até mesmo países a buscarem um desenvolvimento global de estratégias, integrando aspectos financeiros, de marketing, de recursos humanos e tecnológicos.

O autor relaciona o estabelecimento de estratégias tecnológicas empresariais com o modelo de ciclo de vida de uma tecnologia com evolução em três estágios, conforme proposto por Utterback e Abernathy e apresentado na seção 2.2.

Para Roberts, o estágio inicial do ciclo de vida de uma tecnologia tende a caracterizar inovações de produtos, fortemente originadas em pequenas organizações empreendedoras, frequentemente ligadas a necessidades de usuários de ponta. As ousadas descobertas atuais em biotecnologia estão vindo dos laboratórios de universidades diretamente ou de pequenas empresas. Tem-se observado que grandes empresas estão entrando nessa área através de alianças com esses pioneiros. O mesmo padrão de alianças é observado nas áreas de Visão por Computador e Inteligência Artificial.

O estágio intermediário do ciclo de vida de uma tecnologia pode incluir inovações de processo, com queda na variação de produtos, crescimento de competidores, tanto grandes como pequenos. Para conseguir um produto/processo dominante neste estágio, grandes corporações às vezes partem para vultuosos programas de desenvolvimento que combinam muitos elementos de pesquisa aplicada com engenharia. Por exemplo, os esforços bem sucedidos da GM no desenvolvimento do motor a diesel de 2 tempos incluiu mais de 10 grandes desenvolvimentos necessários ao produto final.

O terceiro estágio de uma tecnologia, o estágio de maturidade, caracteriza-se por menor frequência de inovações secundárias de produto e processo, vindas principalmente de grandes companhias, motivadas, na sua maior parte, por redução de custos e objetivos operacionais de melhoria de qualidade, caracterizando-se uma busca de racionalização.

Após esses três estágios, a tecnologia entra em declínio e é substituída por uma nova.

Friar & Horwitch [Fria86] vêem as empresas americanas orientando-se, cada vez mais, para a prática de planejamento estratégico de tecnologias. Este planejamento visa escolher as atividades tecnológicas de uma empresa, alocar recursos para os compromissos correspondentes e estruturar o contexto global para o desenvolvimento e manutenção dos recursos tecnológicos que apoiam a direção estratégica de longo prazo da empresa. É algo muito complexo e que envolve a interação entre três conjuntos de dimensões: presente e futuro, considerações internas e externas, práticas gerenciais formais e informais.

Para os autores, o reconhecimento da tecnologia como uma questão estratégica de alto nível para uma empresa deriva da convergência de, no mínimo, cinco fatores históricos, apresentados a seguir.

O primeiro é uma reação das empresas americanas às práticas de planejamento estratégico dos anos 70 que, apesar da grande infraestrutura envolvida (equipes de planejamento, consultorias, escolas de negócios e modelos baseados em computador), apresentaram resultados modestos comparados aos custos. O segundo fator é o sucesso de pequenas empresas de alta tecnologia na indústria de tecnologias emergentes, tais como semicondutores, instrumentos e computadores. O terceiro fator é a alta prioridade dada à tecnologia por concorrentes estrangeiros, principalmente as firmas japonesas. O quarto fator é a ressurgência da manufatura como arma de competição, face às novas tecnologias de produção, no sentido da automação e produção flexível. O último fator é o desenvolvimento de pesquisas e do pensamento nos campos da gerência estratégica e da gerência de tecnologia, que tem mostrado a importância da inovação e da tecnologia para uma empresa, de forma global.

Para Friar & Horwitch, uma característica fundamental no cenário atual é a progressiva indefinição de limites entre as duas principais formas privadas de atividade inovadora: a pequena empresa empreendedora e a grande empresa inovadora. A pequena torna-se mais "profissional" em termos de práticas gerenciais, podendo negociar efetivamente com as grandes; as grandes, por sua vez, tentam, progressivamente, instalar na sua organização e cultura o comportamento e a estrutura das pequenas empresas empreendedoras.

Pavitt et alii [Pavi87] apresentam subsídios para o estabelecimento de estratégias tecnológicas de grandes empresas, a partir de um

extenso estudo com base em firmas inglesas. Os autores desenvolveram uma taxonomia de trajetórias tecnológicas, relacionando-as às atividades principais dessas empresas. Foram criadas 5 categorias tecnológicas:

a) Dominadas pelo fornecedor

A maior parte de novas tecnologias vem dos fornecedores de equipamentos, materiais, software e outros insumos. As oportunidades para vantagens tecnológicas específicas são poucas e, geralmente, relacionam-se a tecnologias de processo, ao invés de produto. Um setor típico neste caso é a agricultura.

b) Intensivas em escala

A maior parte da tecnologia é desenvolvida, aplicada e melhorada em torno de investimentos e atividade produtiva e relacionada a sistemas de produção complexos, interdependentes e geralmente de larga escala. As principais fontes de tecnologia são os departamentos de engenharia de produção, escritórios de projetos e fornecedores de insumos especializados. Exemplos típicos são o setor automobilístico e manufatura de aço.

c) Fornecedores especializados

A vantagem tecnológica específica é baseada na capacidade de melhorar o desempenho de insumos especializados (máquinas, instrumentação, materiais, software) em sistemas de produção complexos e interdependentes. O foco principal é na inovação de produtos e as principais fontes de tecnologia são o escritório de projetos da própria firma e as atividades de engenharia de produção e sistemas de clientes.

d) Baseadas em ciência

As atividades internas de P&D são a base para a exploração de tecnologias variadas, que emergem de avanços científicos em Física, Química e, crescentemente, Biologia. Permite a diversificação horizontal por produtos e mercados. Setores típicos são o químico e o eletrônico.

e) Intensivas em informação

A vantagem tecnológica consiste não só na redução de custos e na crescente flexibilidade, mas também no potencial para desenvolvimento de novos produtos baseados em informação. As fontes de tecnologia são o departamento de software/sistemas e os fornecedores especializados. Setores típicos são os de serviços financeiro e varejo.

Este estudo sugere uma série de alternativas para estratégias tecnológicas, dentro de cada um desses grupos, mas demonstra que essas estratégias são restringidas pelo tipo de atividade principal da empresa, pelo seu tamanho e por suas formas de organização. Friar e Horwitch aprofundaram o estudo de estratégias tecnológicas praticadas por empresas americanas correspondentes ao grupo daquelas "baseadas em ciência".

Eles mostraram que essas empresas estão utilizando simultaneamente um grande conjunto de estratégias para aquisição de tecnologias. Dentre elas, as estratégias internas podem envolver o desenvolvimento através de P&D central ou divisionado, "ventures" internas ou unidades empresariais autônomas. A aquisição externa de tecnologias pode se dar através de licenciamento, contratação de desenvolvimento, formação de "joint ventures" ou aquisição total ou parcial de outras empresas. Configura-se, ainda, uma nova tendência de formação de alianças entre empresas concorrentes, inclusive com cooperação no desenvolvimento tecnológico. Todas essas formas de aquisição externa estão sendo crescentemente usadas para compartilhamento de tecnologias.

Percebe-se, então, que se as questões tecnológicas em uma empresa têm sido, tradicionalmente, só implicitamente dependentes de decisões estratégicas sobre produtos e mercados da empresa, passam a ser, cada vez mais, objeto de estratégias tecnológicas explícitas. Elas fornecerão o balizamento para decisões de mais baixo nível tais como a escolha de tecnologias específicas e a organização adequada para absorvê-las.

O segundo grupo de questões ligadas à difusão de inovações nas empresas é introduzido sob a consideração de que, qualquer que seja a estratégia tecnologia da empresa, a efetiva adoção de inovações dependerá de um conjunto de aspectos organizacionais e interpessoais, que agruparemos aqui sob a denominação de receptividade a inovações da Organização. A discussão considerará aspectos ligados a atitudes gerenciais, padrões de comunicação e estrutura organizacional.

Twiss [Twis80] aponta o quanto inovações podem modificar as empresas, daí o potencial de ameaça que representam ao "status quo", em termos de perspectivas de deslocamentos de poder, obsolescência, necessidade de requalificação de pessoal etc., o que pode levar a reações às mudanças. Foster [Fost86] ressalta o quanto essas barreiras, que ele denomina de "cilada cultural" (pois as barreiras são uma defesa às práticas atuais e, portanto uma questão cultural)

são de difícil superação por serem muito mais qualitativas que quantitativas. Conseqüentemente inovação tecnológica está intimamente relacionada à gerência de mudanças e o papel dos gerentes, especialmente da alta gerência, é fundamental para a criação de atitudes favoráveis às inovações na organização.

Rothwell & Zegveld [Roth82] afirmam que inovações bem sucedidas tendem a aparecer em organizações onde o estilo de gerência é participativo, ao invés de centralizador, consultativo ao invés de autoritário.

Os autores enfatizam, ainda, a importância de um outro fator nas inovações: as comunicações. Empresas inovadoras estabelecem uma rede de comunicações internas e externas adequada. As comunicações entre os diversos departamentos funcionais internos são boas, bem como aquelas com a comunidade científico-tecnológica e com o mercado. Inúmeros outros estudos confirmam a importância das comunicações na inovação [Reek71] [Lang72] [Roth74]. Os resultados do projeto SAPPHO (este projeto faz uma análise comparativa entre pares de inovações tecnológicas bem e mal sucedidas, na qual um dos elementos do par corresponde a um sucesso comercial e o outro a um fracasso), por exemplo, demonstrou a importância das comunicações externas nas empresas bem sucedidas. Foi verificado que estas fazem uso efetivo de tecnologias externas e também de aconselhamento externo em escala muito maior que as empresas mal sucedidas.

Outro aspecto importante é a estrutura organizacional frente à inovação, em particular a necessidade de flexibilidade da estrutura, especialmente no caso de grandes empresas inovadoras.

Pavitt [Pavi90] discute o dilema de como organizar o pessoal de forma a tirar o maior proveito da competência técnica existente.

Há dois extremos utilizados, sendo que um deles agrupa pessoas por especialidade, o que permite aquisição de competência específica. Nesse tipo de organização, os projetos de inovação são geralmente arranjos matriciais, o que leva os especialistas a ficarem sob dupla gerência: a da divisão especializada e a do projeto. Klimstra & Potts [Klim88] afirmam que a maioria das empresas inovadoras utiliza alguma forma de organização matricial, mas esta forma de organização apresenta enormes desafios gerenciais, sendo o principal o caráter dual da gerência.

Num outro extremo está a estrutura divisional, que agrupa competências de diversos campos e tem objetivos específicos. O

desafio nessa estrutura é o da exploração da sinergia potencial entre as diversas divisões. Definições rígidas de mercados e missões podem levar a perdas de oportunidades para a empresa.

É possível que não haja uma estrutura organizacional ideal para todas as situações e o certo é que empresas inovadoras experimentam extensamente diversas formas organizacionais entre os extremos de especialização e divisionamento.

Outro problema ligado a estrutura organizacional tratado por Pavitt [Pavi90] é o dilema centralização x descentralização frente à inovação. Por um lado, a exploração estratégica de tecnologias, de forma global pela empresa, requer direção central para aproveitar sinergias e reprojeter missões organizacionais e competências técnicas, face a oportunidades emergentes. Por outro lado, transformação efetiva de tecnologia em vantagem comercial requer descentralização, com comunicações horizontais efetivas e tomada de decisões rápidas. Muita centralização pode resultar em inovações radicais mal concebidas e muita descentralização pode levar à busca de maior segurança e apenas inovações incrementais, com declínio da inovatividade ao longo do tempo. O "mix" ideal centralização x descentralização continua sendo, pois, um grande desafio para as empresas.

Outra questão organizacional chave, segundo Twiss [Twis80], é a organização para a introdução da inovação em produção, quer a mesma tenha sido desenvolvida internamente ou esteja sendo adquirida de fonte externa. A consideração mais importante é a superação dos problemas que sempre ocorrem nessa introdução da inovação, sejam questões de adaptação, de aprendizado, de interpretação, de organização ou outras. Várias formas organizacionais têm sido usadas especialmente para fazer frente a esses problemas, dentre elas: criação de grupos temporários mistos contendo pessoas da produção e da organização geradora da inovação cuja tarefa é a de tentar resolver rapidamente os problemas; transferência de pessoas do departamento da inovação para o da produção; estágio de pessoas da produção no departamento da inovação durante o desenvolvimento desta etc. Mais recentemente tem-se os chamados enfoques "venture" que pode consistir na criação de um novo departamento especificamente para a exploração de uma inovação.

Uma questão ligada à adaptação do pessoal à inovação pode ter importância especial: trata-se do esforço de aprendizado ao longo da adoção da inovação. Esse aspecto costuma ser considerado na literatura sob o enfoque de "curvas de aprendizado" como é mostrado,

por exemplo, por Chase & Aquiliano [Chas77]. Essas curvas mostram a variação da produtividade ao longo da introdução da inovação. É sempre necessário um esforço de treinamento e supervisão para adaptação do pessoal à inovação. Na introdução de tecnologias mais sofisticadas esse esforço pode ter que ser substancial e continuado. Pode-se, inclusive, perder produtividade durante as fases iniciais de adoção das inovações. A consciência desse esforço de aprendizado é fundamental para o sucesso da adoção de uma inovação.

Um terceiro grupo de questões sobre a difusão de inovações nas empresas está ligado a decisões de mais baixo nível sobre escolha de tecnologias de processo, de equipamentos etc.

Parte da literatura pesquisada procura identificar fatores importantes na escolha de tecnologias a partir dos atributos percebidos nas inovações em consideração. Rogers [Roge83] considera como importante a seguinte lista de atributos:

a) Compatibilidade

Trata-se da percepção do quanto as novas práticas são consistentes com as atuais e com a experiência existente. Este é um fator cercado de nuances e sutilezas. Se, por um lado, as incompatibilidades percebidas podem ser um fator de rejeição da nova tecnologia, por outro, inovações excessivamente compatíveis podem ser percebidas como pouco vantajosas já que não apresentam grandes diferenças em relação às práticas atuais. Além disso, podem surgir barreiras "invisíveis" por incompatibilidades com as crenças e valores existentes.

b) Vantagem relativa

Trata-se das vantagens que possam ser explicitadas da nova tecnologia sobre a antiga. As vantagens podem desdobrar-se em vários aspectos: vantagens econômico-financeiros, economias de tempo e esforço, vantagens ergonômicas, rapidez de resultados, possibilidade de controle efetivo, dentre outros.

c) Complexidade

Trata-se do grau de complexidade percebido para o uso ou compreensão da inovação. Normalmente quanto maior a complexidade atribuída à inovação, menor sua taxa de adoção.

d) Experimentabilidade

Relaciona-se a quanto se pode experimentar a inovação, ainda que em termos restritos. Quanto maior a possibilidade de

experimentação, menores incertezas serão estabelecidas e maior a chance de aceitação da inovação.

e) Visibilidade

Refere-se ao grau no qual o resultado da difusão da inovação parece visível aos outros. Quanto mais fácil a observação de efeitos positivos, menores incertezas e mais aceitação da inovação serão possíveis.

Outra parte da literatura sobre escolha de tecnologias analisa a escolha de tecnologias em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, procurando identificar fatores específicos.

Wells Jr [Well88] estuda a escolha de tecnologia em um país subdesenvolvido (Indonésia), onde se tem baixos salários e alto custo de capital. São consideradas tecnologias de processo na produção de seis grupos de produtos: sandálias plásticas, cigarros, refrigerantes, pneus, baterias de lanterna e bolsas. Segundo a teoria econômica clássica, se o gerente se comporta como um "homem econômico" era de se esperar a escolha de tecnologias de processo intermediárias ou intensivas em trabalho, relativamente à composição capital/trabalho.

O resultado encontrado é a grande adoção de tecnologias intensivas em capital, não justificáveis do ponto de vista econômico. O autor vai buscar a explicação para isso no comportamento dos gerentes. Para Wells, os gerentes provavelmente não se comportam como "homem econômico". Fatores econômicos restringem o comportamento dos gerentes, mas estes podem ter outros objetivos que os fazem funcionar com o comportamento denominado de "homem engenheiro". Neste caso questões estéticas desempenham um forte papel, acompanhadas de outras tais como a busca de maior segurança, menores incertezas e maior conforto na gerência de pessoal.

Amsalem [Amsa88] realizou um outro tipo de estudo de escolha de tecnologias em países em desenvolvimento examinando empresas em 2 ramos industriais: têxteis e papel. O estudo cobre 4 países: Brasil, Colômbia, Indonésia e Filipinas. Plantas dos EUA e do Japão são usadas para comparação. É utilizada no estudo uma metodologia que identifica tecnologias alternativas, avalia quais minimizam custos de mercado e quais minimizam custos sociais para identificar qual seria a tecnologia ótima do ponto de vista de mercado e qual seria a ótima do ponto de vista social, verificando, a seguir, os desvios.

O estudo constata uma adoção generalizada de tecnologias que



envolvem custos de produção mais altos que o da tecnologia ótima do ponto de vista do mercado, além de inadequadas do ponto de vista social (neste caso usando 1/3 a mais de capital que o ótimo e gerando metade dos empregos possíveis). As principais explicações dadas por Amsalem para tais distorções foram:

- a) A indisponibilidade e o custo de informações para escolha de tecnologias, principalmente com relação às alternativas.
- b) Considerações de risco: risco político e do negócio; risco associado ao uso de diferentes fatores de produção; desejo de proteger a posição competitiva da firma.
- c) Estratégia da firma quanto à diferenciação ou não de seus produtos.
- d) Políticas governamentais gerando distorções tais como a alocação de capital escasso a taxas subsidiadas, favorecimentos a firmas locais, aumento de taxas para equipamento importado etc.

Um quarto e último grupo de questões relacionadas à difusão de inovações em empresas foi obtido na literatura sobre fatores ligados a sucessos e fracassos em inovações. Há uma série de estudos que identificam esses fatores, considerando-se sucessos ou fracassos comerciais de inovações de produtos ou processos, sob a ótica da oferta dos mesmos. Alguns desses fatores serão adotados neste trabalho como hipóteses a serem verificadas também do lado da demanda das inovações.

Quatro fatores merecem especial destaque na literatura sobre sucessos e fracassos em inovações: eficiência no desenvolvimento, orientação para o mercado, esforço de "marketing" e vendas, e comprometimento de figuras chave.

a) Eficiência no desenvolvimento

Um dos resultados do projeto SAPPHO [Roth74] foi que o desenvolvimento das inovações em empresas bem sucedidas é mais eficiente do que nas mal sucedidas. As inovações apresentam menos problemas técnicos durante a produção e poucos problemas pós venda, embora o desenvolvimento não seja necessariamente mais rápido.

b) Orientação para o mercado

O projeto SAPPHO também demonstrou que empresas bem sucedidas

tinham melhor entendimento das necessidades dos usuários que as mal sucedidas. Inúmeras outras pesquisas [Lang72] [Fern80] têm mostrado que cerca de 70% das inovações tecnológicas bem sucedidas foram "puxadas" pelo mercado, isto é, originaram-se a partir da identificação de necessidades ou oportunidades do mercado.

Tem havido um extenso debate entre os economistas sobre qual fator motivador preponderante na motivação para inovações: se a "puxada" do mercado ou o "empurrão" da tecnologia, isto é, o desenvolvimento de projetos para aproveitar possibilidades técnicas do "estado da arte" de certa área, sem antecipação de benefícios comerciais específicos derivados. Roberts [Robe88] ressalta, em contraposição àqueles defensores intransigentes da "puxada" do mercado, o grande número de inovações importantes originadas pelo "empurrão" da tecnologia como neoprene, nylon, polietileno, silicones, penicilina, teflon, transistores, xerografia.

Parece haver hoje um consenso de que, na verdade, as duas fontes são importantes e que uma empresa inovadora deve desenvolver um enfoque misto frente às mesmas. Também parece haver concordância sobre o papel predominante da "puxada" do mercado, com relação ao número de inovações. Para a maioria das empresas, portanto, a orientação para o mercado é fundamental.

c) Esforço de Marketing e Vendas

Este fator, bastante óbvio, encontra várias confirmações empíricas. Outro resultado do projeto SAPPHO foi o de que empresas bem sucedidas fazem maiores esforços de vendas, dedicam maior atenção ao treinamento dos usuários e fazem mais publicidade das inovações que as empresas mal sucedidas. Dalbem et alii [Dalb89] mostraram que a inadequação da promoção, da propaganda e dos preços, eram causas importantes de fracassos na indústria alimentícia brasileira.

d) Comprometimento de figuras chave

A literatura sobre inovações é farta na discussão sobre recursos humanos chaves nos processos de inovação [Robe88] [Twis80] [Bada80].

Pelo menos dois trabalhos mostram o suprimento de figuras chave como fator diferenciador do sucesso em inovações. Langrish et alii [Lang72] mostraram que a existência de um patrocinador, geralmente uma pessoa em posição de autoridade, defensora e entusiasmada pelo projeto, bem como supridora de recursos, é fator chave de sucesso. O projeto SAPPHO demonstrou que os responsáveis por inovações bem sucedidas são, normalmente, mais

antigas em suas posições e com mais autoridade que os equivalentes em tentativas fracassadas. Identificou, ainda, a presença do "campeão do produto", uma pessoa obstinada, que joga todas suas energias e entusiasmo no projeto, como fator diferenciador do sucesso.

## 2.5 Resumo dos fatores determinantes da difusão de inovações

A partir de todas as considerações deste capítulo, foram selecionados os principais fatores determinantes da difusão de tecnologias, ou seja, fatores que podem funcionar como barreiras ou incentivos à difusão.

Será considerado apenas o ponto de vista da demanda nas inovações, ou seja, que fatores contribuem para a decisão de adoção de inovações nas empresas, bem como para um processo de adoção bem sucedido. Estes fatores serão retomados no próximo capítulo, para considerar o caso particular das inovações em software.

Por uma questão de escopo do trabalho, o resumo excluirá fatores macroeconômicos e institucionais que influenciam na adoção das inovações.

Os fatores serão divididos em três classes: na primeira, aqueles ligados a aspectos de estratégia tecnológica das empresas; na segunda, aqueles relacionados a aspectos organizacionais ligados à adoção de inovações e, na terceira, aqueles ligados às percepções de usuários sobre atributos da tecnologia.

A seguir é feito um breve resumo das classes de fatores escolhidas, bem como como dos fatores de cada uma delas.

### i) Aspectos de estratégia tecnológica das empresas

Questões estratégicas e de racionalização em uma empresa parecem estar relacionadas à sua posição no ciclo de vida da indústria. Quanto mais "madura" a empresa, maior a preocupação com racionalização e com questões de longo prazo, dentre as quais as questões tecnológicas. Quanto mais no início do ciclo, maiores as preocupações com questões de curto prazo e menor atenção às questões tecnológicas. Por outro lado, as oportunidades tecnológicas de uma empresa estão limitadas por sua atividade principal. Os fatores deste grupo são os seguintes:

- Racionalização
- Categoria de estratégia tecnológica

- Planejamento estratégico tecnológico

ii) Aspectos organizacionais ligados à adoção de inovações

O desenvolvimento ou adoção de inovações estão ligados, dentre outras questões a uma série de aspectos organizacionais da empresa.

Questões gerenciais, estruturais e de pessoal desempenham papel fundamental na escolha e adoção de inovações. Os fatores deste grupo são os seguintes:

- Estilo de gerência
- Rede de comunicações
- Estrutura organizacional para o surgimento de inovações
- Estrutura organizacional para absorção de inovações
- Figuras humanas chave
- Escolha de tecnologias
- Orientação para o mercado
- Gerência de projetos
- Capacitação do pessoal

iii) Percepções de usuários sobre atributos da tecnologia

As percepções do pessoal sobre as inovações desempenham papel fundamental nas decisões sobre processos de adoção das mesmas e sobre a efetiva adoção, após alguma experiência.

Os fatores deste grupo são os seguintes:

- Compatibilidade
- Vantagem relativa
- Recursos dos fornecedores
- Complementaridades
- Amadurecimento
- Experimentabilidade
- Esforço de aprendizado
- Custo

A seguir é feita uma breve descrição da influência de cada fator na difusão de inovações:

a) Racionalização

Redução de custos e racionalização de processos são normalmente grandes motivadores para a adoção de inovações, especialmente em empresas maduras, favorecendo, conseqüentemente, a difusão dessas inovações.

b) Categoria de estratégia tecnológica

Estratégias ofensivas geram na empresa uma cultura não resistente a inovações, mesmo quando diante de fracassos, favorecendo,

assim, a difusão de inovações.

c) Planejamento estratégico tecnológico

Uma das formas de evidenciar a preocupação de empresas com a tecnologia é a existência de um planejamento estratégico que explicita a estratégia tecnológica a ser adotada e as formas organizacionais para aquisição das tecnologias chave para as mesmas.

d) Estilo de gerência

Gerência participativa, ao invés de autoritária, tem sido apontada como um fator favorável ao surgimento de inovações.

e) Rede de comunicações

Empresas inovadoras estabelecem uma rede de comunicações internas e externas adequada. As comunicações externas dirigem-se tanto à comunidade técnico-científica quanto ao mercado.

f) Estrutura organizacional para o surgimento de inovações

Empresas que se organizam para inovações experimentam formas organizacionais diversas entre os extremos de especialização e divisionamento, para a aquisição de competência. Consideram, também, o aspecto centralização x descentralização, no tocante à percepção de oportunidades de inovação. O que se ressalta é a experimentação de estruturas organizacionais flexíveis, especificamente orientadas para o surgimento de inovações.

g) Estrutura organizacional para a absorção de inovações

Um aspecto facilitador na introdução de inovações em uma empresa, especialmente inovações de processo é a criação de estruturas organizacionais específicas que minimizem os problemas naturais da entrada em produção de inovações. Vários enfoques têm sido usados, dentre eles a criação de grupos de ligação, transferências de pessoal e criação de unidades autônomas para exploração da inovação.

h) Figuras humanas chave

A existência de diversas figuras chave, dentre elas os patrocinadores, os geradores de idéia, os "campeões" de produto, é muitas vezes um fator diferenciador para o sucesso de inovações.

i) Escolha de tecnologias

Têm sido identificados comportamentos gerenciais "não racionais" na escolha de tecnologias, especialmente em países em

desenvolvimento. Esses comportamentos privilegiam aspectos estéticos, de segurança, minimização de riscos e conforto na gerência de pessoal em detrimento de aspectos de adequação econômica e social. Esses comportamentos influenciam a difusão de inovações.

j) Orientação para o mercado

Empresas inovadoras orientam-se fortemente para o mercado, compreendem bem as necessidades existentes, aproveitam oportunidades de inovações pelo conhecimento dessas necessidades, bem como muitas vezes absorvem e desenvolvem uma inovação nascida no mercado.

k) Gerência de projetos

Uma "boa" gerência de projetos é fator de sucessos em inovações e, portanto, influenciador na difusão das mesmas. Desenvolvimento eficiente, associado a outros fatores (dentre eles a presença do "campeão" do projeto e a estrutura organizacional matricial) são aspectos importantes na "boa" gerência.

l) Capacitação do pessoal

A capacitação de pessoal é fator fundamental para a introdução de inovações, especialmente para o desenvolvimento que normalmente ocorre após sua introdução. Não só o treinamento é necessário, mas também a consciência da "curva de aprendizado" que demonstra a baixa produtividade no início do uso de inovações.

m) Compatibilidade

A percepção da compatibilidade da nova tecnologia com as práticas existentes pode ser um fator favorável à difusão dessa nova tecnologia (padrão). Quanto maior a mudança necessária na qualificação de pessoal, maior a tendência a resistências à nova tecnologia.

n) Vantagem relativa

As vantagens explicitadas da nova tecnologia sobre a antiga favorecem sua adoção. As vantagens podem ser econômico-financeiras, ergonômicas, facilidades de gerência etc.

o) Recursos dos fornecedores

A percepção de limitação de recursos dos fornecedores para o desenvolvimento da inovação, que necessariamente deve ocorrer logo após sua introdução no mercado, pode funcionar como uma barreira à difusão de inovações.

p) Complementaridades

A percepção da necessidade de desenvolvimentos complementares em outras tecnologias, para o desenvolvimento de uma inovação, pode retardar a sua adoção; por outro lado, a possibilidade de desenvolvimento de outras tecnologias a partir da introdução de uma inovação pode funcionar como estímulo à sua adoção.

q) Amadurecimento

Usuários podem considerar arriscado adotar tecnologias muito recentes, enquanto outros podem justamente valorizar esse risco, visando tirar vantagem do pioneirismo.

r) Experimentabilidade

Quanto maior a possibilidade de experimentação, menores incertezas serão associadas a uma inovação e maiores as chances de se considerar favoravelmente sua introdução na empresa.

s) Esforço de aprendizado

A percepção de um esforço muito grande para utilizar a inovação e de mudanças na qualificação de pessoal pode funcionar como fatores de reação à inovação.

t) Custo

Caso o padrão de investimento requerido pela nova tecnologia afaste-se dos padrões praticados na empresa, poderão surgir resistências à adoção das inovações.

## Capítulo 3. DIFUSÃO DE ENGENHARIA DE SOFTWARE

Na seção inicial deste capítulo procura-se caracterizar o software como tecnologia, a partir de uma revisão da literatura. Em seguida, explora-se a visão da Engenharia de Software (ES) como um grupo de inovações de processo. Nas seções seguintes considera-se a difusão dessas tecnologias de processo e apresenta-se um resumo dos principais estudos de difusão de ES encontrados na literatura. Na seção final do capítulo, revisitam-se os fatores determinantes de difusão selecionados para estudo no capítulo 2, face aos estudos comentados.

### 3.1 O software como tecnologia

Nesta seção são resumidos quatro aspectos do software como tecnologia: sua essência, sua história, sua interligação a outras tecnologias importantes e a visão econômica do mesmo.

#### 3.1.1 A essência do software

Apesar da crescente importância que o software adquire no mundo atual, seu papel, como um dos componentes de um sistema, ainda é pouco compreendido. Isto se dá por três razões.

Em primeiro lugar, devido a ser uma tecnologia radicalmente nova, onde se destaca sua natureza não material e a complexidade envolvida. Brooks Jr. [Broo87], por exemplo, considera os produtos de software como objetos dos mais complexos jamais construídos pelo homem.

Em segundo lugar, o software interage de maneira complexa com o hardware e com os campos de aplicação, que são universos em constante mudança e aos quais, normalmente, o software é obrigado a se adaptar, dentre outros motivos, por ser o elemento mais novo introduzido no cenário. Além disso, sua natureza plástica favorece a imagem de ele ser algo fácil de ser modelado.

Em terceiro lugar, as fundações científicas para software são altamente multidisciplinares e não estão ainda completamente estabelecidas.

A falta de compreensão sobre o software evidencia-se de várias formas: não há classificação padrão para os diversos tipos de software; o conhecimento sobre seu desenvolvimento mantém-se confinado a modelos genéricos; não há concordâncias sobre medidas de produtividade na sua produção.



Qualquer conceituação para software soa, nestas circunstâncias, como essencialmente incompleta e sujeita a controvérsias. Certamente o que sempre se concordará é que software é muito mais que programas de computador.

De acordo com a ISO (1981), software é:

" Uma criação intelectual constituída de programas, procedimentos e qualquer documentação associada, concernente à operação de um sistema de processamento de dados. Software é independente do seu meio físico."

Freeman [Free87] dá uma definição ainda mais abrangente:

" Software é o cérebro e a alma de um computador, a incorporação de funções de um sistema, o conhecimento capturado sobre uma área de aplicação, a coleção de todos os programas e dados necessários para fazer de um computador uma máquina específica projetada para uma aplicação particular, todas as informações (documentação) produzidas durante o desenvolvimento de um sistema software-intensivo."

O software é, pois, uma tecnologia não material, cujo produto é intangível. Seu valor é determinado pelo conhecimento que ele incorpora, numa forma codificada.

Freeman concebeu, também, um bom modelo para se compreender software. Neste modelo são representadas as principais classes de informações necessárias à produção de software, como representado na Fig. 3.1: Representações de Software, Conhecimentos sobre Engenharia de Software, Conhecimentos sobre os Domínios de Aplicações.

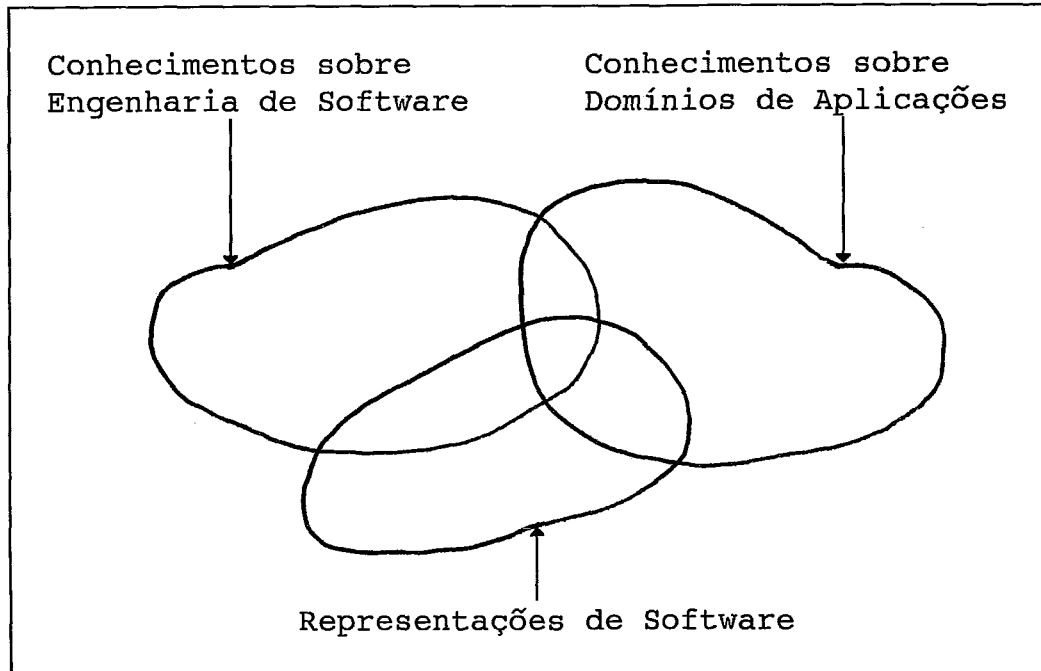


Fig 3.1 Classes de Informações sobre o software  
Fonte: Freeman [Free87] (pag. 10)

Representações de Software incluem programas, projetos detalhados escritos em uma linguagem de descrição de programas, projetos arquiteturais tais como diagramas estruturadas e especificações escritas em linguagens formais. Simplificadamente, qualquer informação que, de forma direta, represente um eventual conjunto de programas e seus dados associados está incluída nesta classe.

A segunda classe, Conhecimento sobre Engenharia de Software, refere-se a todas as informações relacionadas ao desenvolvimento em geral como, por exemplo, instruções para o uso de um método de projeto específico, ou a um desenvolvimento específico como, por exemplo, o cronograma de testes de um projeto. Esta classe inclui informações relacionadas a projetos, a tecnologias de software (métodos, conceitos, técnicas), a conhecimento sobre sistemas similares e a detalhes relacionadas à identificação e solução de problemas técnicos do sistema em desenvolvimento.

A última classe, Conhecimento sobre os Domínios de Aplicações, também é essencial à criação de software. Pode ser, por exemplo, o conjunto de regras de contabilidade ou a compreensão de um processo físico a ser controlado. À medida que se passa a utilizar computadores para situações cada vez mais complexas, torna-se evidente que a compreensão sobre os Domínios de Aplicações é o maior empecilho para a criação efetiva de software. A comunicação entre os especialistas nas aplicações e os especialistas em computadores tem sido identificada, de forma crescente, como um problema chave. O progresso tem sido lento na melhora desta interface.

O modelo pretende, também, mostrar que a interface entre as três áreas é pequena.

Embora se tenha muitos conhecimentos sobre ES tais como princípios sobre a construção de programas, tais conhecimentos não são incorporados à maioria das linguagens de programação.

A interface entre Representações de software e Domínios de Aplicações também é pequena. As linguagens de programação são ou muito gerais, incorporando muito poucas características sobre os domínios de aplicação (no caso do FORTRAN, as facilidades de cálculo) ou muito específicas, voltadas, por exemplo, para controlar uma parte específica de um equipamento. Muita pesquisa está sendo feita no sentido de se criarem linguagens dirigidas para certas classes de aplicações.

Uma intersecção também pequena é aquela entre o conhecimento de Engenharia de Software e o conhecimento sobre Domínios de Aplicações. Tem-se poucos princípios de Engenharia de Software que endereçam questões de como se construir aplicações de determinado tipo. As divisões entre tipos de sistemas (sistemas em tempo real, sistemas em bancos de dados, por exemplo) da Engenharia de Software ajudam pouco nessa questão.

Para uma boa gerência do desenvolvimento de software é crucial a atenção às três classes de informação.

### 3.1.2 Os marcos na história do software

A história do software é cheia de marcos correspondentes a inovações tecnológicas ou questões de difusão que influenciaram fortemente sua evolução.

Valdez [Vald88] caracteriza a trajetória do software em termos da tensão dinâmica entre dois polos: o desenvolvimento do hardware e a demanda dos usuários. Para ela, a história do software pode ser vista como sua separação do hardware e a progressiva concepção em níveis cada vez mais altos, nos quais a formulação dos problemas a serem resolvidos torna-se progressivamente o foco da questão.

No início dos computadores não havia distinção clara entre o hardware e o software. Do ponto de vista da separação entre esses elementos, alguns marcos foram importantes, segundo Gaio [Gaio90]: o surgimento da programação como profissão, a idéia de programa armazenado na memória, a arquitetura "Von Newman", a invenção das linguagens de programação e dos sistemas operacionais.

O nascimento da programação como atividade independente é atribuído ao projeto ENIAC, um dos primeiros computadores eletrônicos feitos, em meados dos anos 40. Kraft [Kraf79] narra a percepção que se teve, então, da necessidade de separação do trabalho de programação, para permitir que os engenheiros se concentrassem nas questões de máquina. Contratou-se um grupo de mulheres com aptidões matemáticas para trabalhar na programação, que nasce, assim, como atividade secundária, sendo o hardware o cerne do projeto.

Outro ponto importante na evolução do software foi a introdução, a partir do projeto EDSAC, no final dos anos 40, do conceito de programa armazenado na memória.

A programação, que até então era microprogramação, consistindo em sintetizar funções a partir de circuitos existentes e ligá-los por fiação externa, torna-se menos trabalhosa. Ao mesmo tempo que aumenta a flexibilidade e performance geral do sistema, uma máquina pode mais facilmente servir a propósitos diferentes. Valdez [Vald88] nota que, curiosamente, havia objeções de pesquisadores em relação à idéia de utilização de programa armazenado, dado o potencial de confusão que representa a mistura de programa com dados.

A arquitetura "Von Newman", que recebeu o nome do seu criador, constituiu-se a base teórica principal para a arquitetura da grande maioria das máquinas construídas desde 1945 e só recentemente começa a ter a competição de outras arquiteturas como a de máquinas paralelas. Nessa arquitetura um processador central processa os jobs de maneira sequencial, o que se reflete fortemente nas tecnologias de construção de programas em uso até hoje.

Por fim, a invenção de linguagens de programação e de sistemas operacionais foi fundamental para aumentar a produtividade na programação, com ganhos concomitantes na confiabilidade, simplicidade e facilidade de compreensão. Eles libertaram os programadores de dificuldades acidentais, tais como os detalhes dos dispositivos de E/S e do hardware. Permitiram que o trabalho de programação passasse a ser feito num nível mais abstrato, cada vez mais orientado para a solução dos problemas. O software passa a ser visto como um conjunto de níveis abstratos, organizados de forma hierárquica e cada nível funcionando com relativa independência do outro. A idéia é que cada nível possa, teoricamente, funcionar omitindo detalhes dos níveis mais baixos, cada vez mais próximos do hardware.

Do ponto de vista da demanda dos usuários, pode-se dizer que a grande utilização de computadores desde a sua invenção tem sido na administração das empresas. É de se notar, entretanto, que quando os primeiros computadores foram construídos não era esse seu objetivo. Eles eram muito mais voltados para aplicações científicas e bélicas. Entretanto, o casamento de computadores com administração tem se dado num contexto de incertezas e crises onde o software tem um papel de destaque. Segundo Carvalho [Carv88], a utilização de computadores na administração está associada a um erro de perspectiva que custou muito caro. Para ele, imaginava-se como muito triviais os problemas do dia a dia da administração e não se supunha razoável utilizar uma máquina tão cara e aperfeiçoada para esse tipo de problemas. Assim, quando, no início dos anos 60, os computadores atingiram um patamar de preço e desempenho que possibilitou sua disseminação no mundo empresarial, em tarefas de cunho administrativo, a forma com que se buscou integrá-lo nessa nova função foi totalmente artesanal e primária, gerando resultados muito aquém do que se poderia esperar.

A história da disseminação de computadores nas empresas pode ser resumidamente colocada como tendo 3 fases: até o final dos anos 60 praticamente só as grandes empresas utilizavam computadores, como narra Valdez [Vald88]. No final dos anos 60 e em meados da década de 70, o surgimento de "time-sharing" e de minicomputadores, aliado ainda à redução do custo de "mainframes", propiciou o início da utilização de computadores em pequenas e médias empresas. No final dos anos 70, o surgimento do microcomputador generalizou a utilização de máquinas na administração das empresas.

Entretanto, dificilmente o critério econômico, baseado na clara demonstração de vantagens tangíveis, pode explicar o ritmo de adoção de computadores para auxílio à administração das empresas. Segundo Valdez ela se explica, muito mais, pela "supervenda" dos computadores

pelos fabricantes, com promessas mirabolantes e uma política agressiva de vendas, tendo, em contrapartida a "supercompra" do lado dos usuários, com expectativas fantasiosas sobre o que as máquinas podem fazer e ávidos por soluções para seus imensos problemas. Tanto de um lado quanto do outro, permeava a crença ingênua na facilidade de se desenvolver software.

### 3.1.3 O software e as complementaridades tecnológicas

O estudo da evolução do software como tecnologia não pode ser divorciado da compreensão de tecnologias paralelas que desempenham papel complementar importantíssimo na evolução de uma tecnologia, como foi visto na seção 2.1.2, nem do contexto das aplicações, fonte de pressões contínuas em sua evolução.

O software será sempre apenas um dos elementos de um sistema aplicativo baseado em computadores, fato que em geral não é compreendido pelo pessoal envolvido com o desenvolvimento de aplicações, levando muitas vezes à distorção de se confundir o software com o sistema aplicativo. No caso de Sistemas de Informação, por exemplo, é muito comum verem-se fracassos em desenvolvimentos de aplicações, devidos a negligência de inúmeros fatores sistêmicos e a concentração de esforços apenas no desenvolvimento do software [Lyyt87].

Vamos analisar, a seguir, as complementaridades do software em relação às tecnologias de hardware, bem como em relação à evolução de Sistemas de Informação. A razão para se considerar, no campo de aplicações, apenas os Sistemas de Informação é que este tem sido o grupo principal de aplicações baseadas em computadores. Autores, como por exemplo Fujino [Fuji85], estão prevendo, para os anos 90, um crescimento muito mais acentuado de aplicações em outras áreas tais como automação industrial, comunicações, eletrônica doméstica. Certamente que nessas novas áreas questões tecnológicas próprias também interagirão de forma complexa com o software, mas o problema do presente são os Sistemas de Informação.

A interação do software com o hardware é detalhadamente analisada por Gaio [Gaio90], que interpreta a evolução de sistemas de computadores como o resultado das trajetórias distintas do hardware e do software. Para ela, a combinação complexa de ambos modela os parâmetros econômicos e de mudanças tecnológicas dos sistemas de computação como um todo. Essa complementaridade muitas vezes significou um casamento e acoplamento positivo das duas trajetórias.

Muitas vezes, entretanto, os componentes de software e hardware experimentaram padrões contraditórios de mudanças técnicas, gerando, usualmente, desequilíbrios e gargalos que afetaram estruturas industriais e, conseqüentemente, tanto a demanda quanto a oferta de sistemas de computadores.

Simplificadamente, a trajetória do hardware pode ser descrita como intimamente relacionada a quatro gerações de produtos da microeletrônica: válvulas, transistores, circuitos integrados e microprocessadores. O advento dos microprocessadores levou à convergência de grande variedade de tecnologias: lasers, fibras óticas, telecomunicações, dentre outras, favorecendo grande diversificação de aplicações que se difundiram de forma ampla em várias áreas. A evolução de todo esse conjunto de tecnologias deu-se num contexto de crescente capacidade de usar grandes volumes de informações, de realizar grande variedade de tarefas e com sucessivas melhorias de performance, quanto a custos, consumo de energia, velocidades e capacidades.

Gaio apresenta os seguintes dados:

- a) O custo médio, para 100.000 cálculos, decresceu 250 vezes no período 1952 - 1977
- b) O custo/performance para memórias de computadores IBM decresceu 80 vezes no período 1952 - 1978
- c) A compactação física, em volume, de memória de máquinas IBM foi da ordem de 3.200 vezes no período 1950 - 1978
- d) A velocidade de processamento, para computadores em geral, aumentou 10 vezes no período 1972 - 1986

Em contraste ao hardware, o software mantém-se uma atividade essencialmente artesanal, com ganhos de produtividade nada comparáveis àquele. Apesar das controvérsias sobre a conceituação da produtividade em software, há estimativas como, por exemplo a do S.P.R.I. [Moad90], que indica um crescimento de 5 vezes na produtividade do software no período 50-90. Para Brooks Jr. [Broo87], entretanto, a anomalia não é tanto o crescimento da produtividade do software ser baixa, mas sim a do hardware ser altíssima, estúpida e sem paralelo na história do desenvolvimento tecnológico.

Um resumo, a partir de Gaio [Gaio90], das principais mudanças históricas no software, ligadas à evolução do hardware, seria o seguinte:

- a) De meados de 50 a meados de 60, a ênfase era a de "otimização" do hardware e as principais mudanças no software vão nesse sentido: métodos de multiprogramação e "time-sharing" e o aparecimento de sistemas operacionais que favoreceram o uso de um recurso central compartilhado. Note-se que a criação das linguagens de alto nível deveu-se, em grande parte, à escassez de recursos disponíveis aos programadores, ao mesmo tempo que uma maior disponibilização de hardware favoreceu a difusão dessas linguagens. Outro ponto importante foi o lançamento da família do sistema 360 da IBM, fortemente baseada na garantia, para o usuário, de compatibilidade no software, a despeito da variedade de hardware que constituía essa "família". Para realizar tal garantia a IBM teve de implementar componentes de software em "firmware" (sequência de instruções fixadas na memória principal), conceito até então não implementado praticamente. Finalmente, a obrigação de a IBM discriminar, para seus usuários, os encargos de software dos demais encargos, a partir de 1969, como será comentado na próxima seção, favoreceu a criação de um setor de software independente.
- b) Nos anos 70, assistiu-se a um dramático ganho de performance do hardware, tendo culminado com a invenção do microprocessador. O gargalo existente na produção de circuitos integrados, crescentemente complexos, foi resolvido. Eles foram transformados em dispositivos programáveis, o que levou à emergência de um novo mercado: software de microeletrônica. Neste período muitas melhoras foram desenvolvidas no software, dentre elas: confiabilidade crescente de sistemas operacionais, linguagens de mais alto nível, disseminação de pacotes, aplicação de métodos de gerência científica e a Engenharia de Software. A Engenharia de Software se propôs não só a melhorar inovações existentes (p. ex. linguagens de mais alto nível) mas também a melhorar significativamente o processo de produção de software de forma global e desenvolveu-se em vários sentidos: métodos de desenvolvimento com graus variados de formalização, introdução de métricas no processo e de ferramentas de produtividade.
- c) Nos anos 80, assiste-se a uma intensificação de todas as inovações da década anterior, com particular ênfase na ES. Embora o progresso técnico em software tenha sido grande, não o foi na escala suficiente para compensar o descompasso para o hardware,



de forma que o desafio continua sendo a melhoria no desenvolvimento do software. A constatação geral é de que a difusão das inovações de processo no desenvolvimento de software foram muito lentas e inicia-se um esforço mundial, a nível de governos e grandes empresas para aumentar a taxa de progresso no software, como será discutido nas próximas seções.

Em termos industriais, as maiores oportunidades de lucro tendem a vir cada vez mais através do software do que do hardware. Isso aponta para a tendência a concentrar conhecimento nos sistemas, o que pode facilitar a grande difusão de sistemas comercializados como "caixas pretas".

De maneira geral a interação entre o hardware e o software é caracterizada pelos gargalos que o software representou para o hardware. Um aspecto pouco estudado é o efeito das limitações em sentido contrário, ou seja: as limitações do hardware impostas ao software. Se considerarmos as linguagens de programação encontramos muitas limitações de implementação, originadas por restrições do hardware (memória ou velocidade). Tamanhos de dados numéricos, por exemplo, trouxeram no passado e ainda trazem dificuldades, às vezes consideráveis, para o desenvolvimento de aplicações.

Outro ponto de vista para a evolução do software é a sua interação com a demanda, especialmente no caso de Sistemas de Informação. Como foi dito anteriormente, a utilização da Tecnologia de Informação na Administração das empresas deu-se num contexto de "supervenda" da indústria, com promessas mirabolantes, tendo como contrapartida a "supercompra" pelos usuários. A distorção de expectativas gera uma tensão constante que, se por um lado leva a frustrações, por outro funciona como uma motivação para inovações.

As grandes empresas tiveram papel ativo nas inovações iniciais em software: sistemas operacionais e linguagens de programação. A linguagem COBOL foi criada a partir de iniciativa de usuários, liderados pelo Departamento de Defesa americano, para ser utilizada em aplicações comerciais. Já aqui aparece a distância entre as intenções e os fatos: o COBOL foi amplamente enunciado como linguagem autodocumentável, quase um dialeto do inglês, que levava a programas claríssimos, de fácil manutenção e portáteis. Vê-se hoje o quanto havia de ilusão nessas enunciações. Os problemas de clareza estão muito mais ligados aos algoritmos; a portabilidade é apenas relativa, pois cada fabricante criou as extensões da linguagem que liquidaram a portabilidade e tem-se os mesmos problemas de documentação que na utilização de outras linguagens.

Após a introdução de computadores na administração e até a 3ª geração de computadores, o uso era principalmente nas tarefas burocráticas, como substituição à mão de obra. Como acentua Valdez [Vald88], até na indústria manufatureira isso tinha ocorrido.

Nesse período foram feitas algumas tentativas de desenvolvimento de aplicações na área de suporte a decisões gerenciais, que tiveram algum sucesso e conduziram ao aperfeiçoamento de técnicas matemáticas (PERT, CPM, simulação e programação dinâmica). A disseminação global dessas técnicas foi, entretanto, discreta.

Já nessa época se percebia questões de confiabilidade e produtividade no software.

Com a 3ª geração, já no final da década de 60, veio todo um esforço para utilização de computadores no auxílio à gerência das empresas, que se consubstanciou no desafio para a construção de Sistemas de Informação Gerenciais (MIS- Management Information Systems). A idéia de SIG era ambiciosa e pretendia ser um sistema global para toda a empresa.

Na definição de Tomeski & Lazarus [Tome75], tinha-se :  
"Um Sistema de Informação Gerencial é uma montagem de dados (fatos, opiniões etc) processados (sumarizados, categorizados, projetados etc) de tal forma que constituam inteligência (informação) para o propósito de decisões gerenciais e atendimento de objetivos organizacionais"

Valdez descreve grande parte da história desse desafio, mostrando as imensas dificuldades conceituais e tecnológicas dessa empreitada, com a decorrente frustração e conseqüente abandono dos projetos, já nos anos 70. Percebeu-se que a definição desse tipo de sistema era geralmente muito vaga. Além disso, percebeu-se que o próprio processo de gerenciamento é inerentemente difícil de se reduzir a um conjunto de regras. Viu-se, também, que a distinção entre dado e informação não era tão simples quanto parecia e que todo um conjunto de contradições da realidade era embutido nos sistemas.

Entretanto, de todo esse esforço nasceu o conceito de Bancos de Dados, levando à construção dos Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados, que vieram a se tornar importantes componentes do software.

A necessidade de interfaces adequadas para levar em conta as demandas vagas e contraditórias das gerências e o processo de construção de uma aplicação num computador, que exige definições

precisas ajudou a consolidar a Análise de Sistemas como profissão.

Nos anos 70 e 80, a partir da emergência da Engenharia de Software, criaram-se inúmeras inovações: metodologias voltadas para o desenvolvimento de Sistemas de Informação, uma série de inovações em linguagens, a computação pessoal e os sistemas especialistas. Todo esse conjunto de inovações em software, entretanto, não resolveu de forma satisfatória a questão de utilização de computadores na administração das empresas e, mais que nunca, os departamentos de Sistemas de Informação são questionados e cobrados por resultados efetivos [Davi86] [Carl89] [Scud91].

Mais recentemente, os departamentos de Sistemas de Informação passam a ser cobrados por uma atuação mais positiva frente à competitividade da empresa. Porter [Port85] desde 1985 tentara tornar claro o que pode ser a utilização da informação como vantagem competitiva, ao mostrar que a utilização da tecnologia de informação pode ser na redução de custos, através da integração de processos da empresa, ou na diferenciação dos produtos (flexibilização da produção ou aumento do conteúdo informacional do produto). Não se dispõe da tecnologia para enfrentar este desafio. Certamente muito fracasso advirá na tentativa de sua solução e alguma inovação no software sobrarão do esforço realizado.

#### 3.1.4 O software como atividade econômica

Esta seção está fortemente baseada em Gaio [Gaio90].

O software nasce como atividade independente nos anos 40, como notado anteriormente, com o advento de programas armazenados na memória. No final dos anos 50 surgem, nos EUA, firmas independentes produtoras de software tendo como cliente principalmente o governo americano. Nesta época vendiam-se sistemas onde o software era empacotado juntamente ao hardware. Em 1969 ocorreu uma mudança crucial nesta situação, devida à ação antitruste feita pelo governo dos EUA contra a IBM, obrigando-a a discriminar separadamente aos seus clientes, encargos de software de aplicação, engenharia de sistemas e serviços de treinamento. Isto criou um ambiente propício ao surgimento de fornecedores independentes de software.

Por outro lado, nos anos 70, assistiu-se a um crescimento explosivo da demanda por aplicações, acabando por configurar a "crise do software", caracterizada pela incapacidade de produção "in-house" do software na quantidade, qualidade e custo necessários, principalmente

no caso de grandes empresas. O crescimento do desenvolvimento "in-house" passa a enfrentar muitos problemas, sendo o principal a gradativa concentração da mão de obra em manutenção, combinada a crescentes custos internos e carência de mão de obra especializada.

A crise intensificou-se com o advento dos microcomputadores e sua adoção em larga escala nas empresas, com crescente geração e aceleração de demanda por aplicações. Como consequência, muda a organização de Informática das empresas, com graus variados de descentralização de funções e o software passa a ser obtido também por desenvolvimento descentralizado e por fontes externas. Ao mesmo tempo, o mercado de software comercial era caracterizado pela emergência e crescimento rápido de fornecedores especializados em pacotes para micros. Isto também levou a uma expansão da demanda por pacotes nos segmentos de minicomputadores e "mainframes", favorecendo o crescimento de fornecedores de pacotes.

O processo global de intensificação e extensão da demanda, aliado às grandes mudanças técnicas em curso, levou à enorme variedade de pacotes de softwares e serviços, sendo este um elemento característico da heterogeneidade da nova atividade de produção de software. Surge um número imenso de novas firmas independentes especializando-se em diferentes segmentos e nichos do novo mercado.

Para uma caracterização do mercado de software comercial é necessário considerar que ele é comumente analisado como parte do setor de serviços de computação, normalmente desagregado em 3 categorias:

- a) serviços de processamento: cobrados em bases de recursos de computador, software e telecomunicações.
- b) serviços profissionais: software customizado, consultorias, treinamento.
- c) pacotes de software: software básico e aplicativos projetados e produzidos para serem comercializados para grande variedade de usuários.

Uma rápida análise da evolução do mercado mundial de serviços de computação a partir de 1981, baseada nas tabelas 3.1 e 3.2 mostra dois aspectos básicos: os produtos de software e serviços profissionais passam a liderar a aceleração do processo, em oposição à prática difundida anteriormente de externalização de serviços de processamento; em segundo lugar os fornecedores de software

americanos lideram esse crescimento sendo responsáveis, em 1981, por 57,7% do software total comercializado no mundo (no caso de "mainframes", o percentual é maior ainda). Previa-se uma queda no predomínio americano, em 1991, para o patamar de 52%.

Tabela 3.1 Mercados Nacionais de Serviços de Computadores em US\$ 1 milhão, 1981 - 1991

MERCADOS NACIONAIS	1981	1985	1991	TCRA		% MERCADO MUNDIAL		
	US\$ Milhão	US\$ Milhão	US\$ Milhão	81/85	85/91	1981	1985	1991*
EUA	16,0	30,6	84,7	17,6	18,5	57,7	55,9	52,0
JAPÃO	3,6	7,1	20,1	18,4	19,0	12,9	12,9	12,3
EUROPA OCID.	7,3	15,2	48,3	19,9	21,3	26,5	27,7	29,7
FRANÇA	1,7	3,4	10,2	19,3	20,1	6,1	6,2	6,3
ALEM. OCID.	1,4	2,8	9,5	19,4	22,9	5,1	5,1	5,9
INGLATERRA	1,1	2,7	8,6	24,1	21,5	4,9	4,9	5,3
RESTO MUNDO	0,8	1,9	9,9	25,3	31,4	3,5	3,5	6,0
TOTAL	27,7	54,8	163,0	18,6	19,9	100,0	100,0	100,0

Fonte: Gaio [Gaio90,pag.140]

Convenções: TCRA = Taxa de Crescimento Real Anual  
\* = valores estimados

Os padrões nacionais de diversificação de demanda e sua evolução estimada nos anos 80 são apresentados na tabela 3.2, para 5 grandes países desenvolvidos.

Tabela 3.2 - Mercados Nacionais de Serviços de Computadores  
% de mercados por categoria de produtos, 1981 - 1991

	1981	1985	1991
<b>EUA</b>			
PA	27	41	57
SC	15	13	12
TG	13	12	12
PD	45	34	19
<b>JAPÃO</b>			
PA	1	4	9
SC	31	37	37
TG	8	9	9
PD	60	50	45
<b>FRANÇA</b>			
PA	18	25	37
SC	35	38	41
TG	4	4	4
PD	43	32	18
<b>ALEM. OCID.</b>			
PA	30	42	58
SC	27	26	24
TG	6	6	5
PD	37	27	13
<b>INGLATERRA</b>			
PA	28	43	56
SC	29	27	26
TG	6	6	6
PD	37	24	12

Fonte: Gaio [Gaio90,pag.141]

**Convenções:**

PA = Pacotes;

SC = Software Customizado/Consultoria

TR = Treinamento/Gerência de Instalações

PD = Processamento

\* = valores estimados

Uma análise dos dados da tabela 3.2 mostra os seguintes padrões:

- a) Em 1965 constatou-se uma grande diferenciação entre as nações, caracterizada pela mais baixa propensão por pacotes no Japão e na França; uma mais alta propensão para serviços e software customizado na Europa e Japão; uma certa estabilidade do padrão tradicional de demanda para Processamento de dados externo no Japão.
- b) Uma tendência geral de demanda em todos os mercados principais: previa-se que pacotes de software dobrassem sua participação no mercado durante os anos 80. Entretanto, as tendências previstas nas tabelas podem estar sujeitas a modificações substanciais nos anos 90, face a difusão em larga escala de mudanças técnicas radicais em software, baseadas principalmente em Engenharia de Software.
- c) Como consequência, enquanto software customizado e serviços estão mantendo uma participação constante ou levemente decrescente no mercado, a participação de processamento de dados decresce fortemente. O Japão ainda mantém um padrão nacional peculiar de demanda, fortemente baseado em software customizado.

No Brasil, estimava-se que o mercado de serviços de computação correspondia, em 1985 a 0,5% do mercado mundial, com a forte predominância de processamento de dados, segundo Gaio [Gaio91].

## 3.2 A Engenharia de Software como inovação de processo

Nesta seção será feita, a partir da literatura, uma caracterização da ES como inovação do processo, tanto do ponto de vista histórico quanto das propostas técnicas existentes. Além disso é apresentada uma visão do processo de produção em software.

### 3.2.1 As propostas técnicas da Engenharia de Software

Paralelamente a toda a evolução do software, imersa em inúmeros problemas e questões de complementaridades tecnológicas, que, simplificada, podem ser caracterizados como a baixa produtividade e qualidade na sua produção, vem sendo desenvolvida, proposta e experimentada uma nova visão sobre o desenvolvimento de software: a Engenharia de Software.

Engenharia de Software não tem definição única, com variações temporais e geográficas de significado. Uma definição típica pode ser encontrada em Pressman [Pres88]:

**"Engenharia de Software é o estabelecimento e uso de princípios consagrados de Engenharia, a fim de obter, economicamente, software confiável e que funcione efetivamente em máquinas reais"**

Outras definições enfatizam a questão da gerência do desenvolvimento, como, por exemplo, a dada em Fairley [Fair85]:

**"Engenharia de Software é a disciplina tecnológica e gerencial, relacionada com a produção e manutenção sistemáticas de produtos de software no tempo correto e dentro de custos estimados"**

Um resumo das definições mostra que a Engenharia de Software busca a economia, qualidade e previsibilidade no desenvolvimento de software. Essa é, por exemplo, a conceituação feita por Pietrasanta [Piet84] sobre os objetivos da Engenharia de Software.

Nessas e em outras definições, as referências um tanto vagas a "princípios de Engenharia" alcançam especial controvérsia quando se confrontam as visões americana e europeia sobre o assunto, especialmente nos primeiros anos da nova disciplina. Enquanto os americanos estiveram mais voltados para os aspectos práticos, os europeus procuraram enfatizar a base matemática da disciplina. Isto tem trazido para a Engenharia de Software diferenças de posturas.



Valdez [Vald88], mostra a seguinte crítica feita por Dijkstra, em relação às influências americanas no curso da Engenharia de Software:

"A Engenharia de Software está se perdendo. Se você ler um livro sobre o assunto, você descobrirá que o significado corrente para a Engenharia de Software dado por aquele grupo baseia-se no princípio: "como programar, se você não puder". É realmente sombrio."

O termo "Engenharia de Software" já tinha sido utilizado por alguns profissionais antes de 1968. Nesse ano e no seguinte, a OTAN (Organização do Tratado do Atlântico Norte) patrocinou duas conferências internacionais sobre software que podem ser consideradas como responsáveis pelo surgimento, a nível mundial, da Engenharia de Software como uma mudança na visão sobre desenvolvimento de software.

A primeira conferência, realizada em 1968 em Garmish, Alemanha, visava discutir os problemas de software já evidentes então, bem como possíveis técnicas, métodos e desenvolvimentos que pudessem levar à solução dos problemas. A conferência realizou-se com um número limitado de pessoas, mas representativas de todas as áreas ligadas ao software: fabricantes de computadores, universidades, "software houses", usuários. A conferência reconheceu, de forma generalizada, a "crise" do software e teve enorme repercussão e desdobramentos.

A segunda conferência foi realizada em 1969 em Roma. Foi menos excitante, não se conseguiu atingir um dos objetivos que era o de criar um instituto internacional de software e evidenciou um problema que iria estar persistentemente presente: o grande distanciamento entre universidades e empresas, entre o mundo teórico e o prático do software. Essa conferência contribuiu, entretanto, para continuar conscientizando o mundo para a questão do software.

Desde então, os esforços mundiais em ES têm se multiplicado, inúmeros caminhos foram e estão sendo tentados, o assunto adquiriu importância estratégica nacional, a despeito da permanência dos problemas e da consciência generalizada do quanto ainda estão imaturas as fundações para essa disciplina.

Mary Shaw, da Carnegie Mellon University, tem estudado como evoluíram certos ramos da Engenharia, especialmente a Engenharia Química e a Engenharia Civil tendo concluído [Shaw90] que um ramo da Engenharia evolui de artesanato para algo profissional em três estágios.

Inicialmente, técnicas sistemáticas de produção e métodos de gerência transformam o artesanato em produção comercial rotineira. Mais tarde, os problemas de produção estimulam o desenvolvimento do suporte científico. Finalmente, uma ciência madura, em combinação com práticas estabelecidas de produção levam à prática de engenharia profissional. Este processo tem levado mais de uma centena de anos. No caso da ES, estar-se-ia hoje na passagem para o segundo estágio, de forma que uma disciplina madura é trabalho para muitas décadas mais.

As propostas iniciais de mudanças técnicas da ES foram na área de programação. A primeira delas, a Programação Estruturada, nasceu de uma série de trabalhos de Dijkstra e foi formalmente apresentada em 1969 em Roma, na segunda conferência de ES da OTAN [Dijk69]. A adoção desta técnica foi lenta e a discussão teórica sobre a mesma foi extensa e muito desvirtuada, centrando-se no aspecto secundário da eliminação do comando "Go to" dos programas e até mesmo das linguagens de programação. A controvérsia do "Go to" durou alguns anos e foi amplamente divulgada [Dijk68] [Wulf72] [Hopk72] [Knut77]. Hoje a Programação Estruturada está universalmente assimilada.

Algumas outras propostas na área de programação surgiram nos primeiros anos após a conferência de Garmish: desenvolvimento de programas por refinamentos sucessivos [Wirt71] e modularização [Denn73] dentre outras.

Também foi na área de programação uma das primeiras propostas ligadas à organização do processo de desenvolvimento: a organização da equipe de programação sob o enfoque do "Time do Programador Chefe". Essa proposta, feita por Baker [Bake72], nasceu de experiências práticas, onde a equipe de programação é liderada por um programador chefe, com grande experiência, que fica responsável pela orientação geral e pelo desenvolvimento das partes mais difíceis e importantes dos programas. Compunham a equipe um programador assistente, um documentador, analistas e programadores. Friedman [Frie86] mostrou que esta prática só teve grande aceitação nos EUA, mas em 1986, mesmo lá, mostrava sinais de grande declínio no uso.

Só progressivamente, as preocupações com métodos para as outras fases do processo de desenvolvimento de software e para a gerência foram sendo propostos. Em meados da década de 70, a preocupação dirigiu-se para a fase de testes e, no final da década, para análise e projeto. Nos anos 70, paralelamente às propostas técnicas, a organização do trabalho na produção de software orientou-se no sentido da fragmentação e desqualificação do trabalho, como

caracterizaram Kraft & Dubnoff [Kraf86]. Há tentativa de clara separação entre analistas, programadores e codificadores e de hierarquização no desenvolvimento de aplicações.

No início dos anos 80, tinha-se consolidado um modelo básico de ciclo de vida de desenvolvimento de software "em cascata", composto das fases: Planejamento, Análise, Projeto, Codificação, Testes e Manutenção. Neste contexto a Manutenção é vista como se originando por três motivações distintas: correções, adaptações e evoluções. Para todas as fases tem-se propostas de métodos, destacando-se Análise Estruturada, Projeto Estruturado, Programação Estruturada, Testes de Caixa Branca e de Caixa Preta.

Para a gerência tinham sido propostos métodos de previsão do esforço e tempo necessários para o desenvolvimento, destacando-se o COCOMO [Boeh81] e o método de Putnam [Putn76]. O controle de qualidade proposto é baseado em inspeções [Faga76].

Nos anos 80 aprofundam-se as propostas geradas na década anterior, Surgem, também, novos enfoques. Segundo Pressman [Pres88] os novos ciclos de vida propostos são baseados, principalmente, na tentativa de apresentar mais rapidamente ao usuário alguma versão, ainda que simplificada, da aplicação em desenvolvimento. São os enfoques de Prototipagem e Desenvolvimento com Linguagem de 4ª Geração.

Ampliam-se as propostas de projeto orientado para as estruturas de dados, alcançando especial repercussão os métodos de "Orientação a Objeto". Segundo Pressman [Pres88], os métodos desta linha são extensamente baseados nos conceitos de abstração, encapsulamento e modularidade e o interesse crescente nos mesmos deriva, em parte, do desenvolvimento das linguagens Ada e Smalltalk. Os métodos encontram receptividade em certas áreas tais como computação gráfica e telecomunicações.

Aperfeiçoam-se propostas de desenvolvimento de software baseado em métodos formais, especialmente na Europa. Esses métodos buscam uma orientação matemática no desenvolvimento. As especificações são feitas em linguagens formais, tais como Z e VDM, os programas são construídos diretamente a partir da especificação e faz-se a verificação de programas por argumentação matemática. Segundo Freeman & Gaudel [Free91], entretanto, o suporte ao desenvolvimento de métodos formais ainda é insuficiente para o seu uso em larga escala.

Assiste-se, na década, a um grande impulso nas técnicas de Inteligência Artificial, sendo que a área de Sistemas Especialistas

tem especial interesse para a Engenharia de Software. Esse conjunto de técnicas busca construir aplicações específicas de diagnósticos, planejamentos, decisões ante incertezas e outras, a partir do armazenamento do conhecimento de especialistas sobre determinados assuntos. Um dos impactos principais dessas técnicas na Engenharia de Software será, segundo Brooks [Broo87], na criação de sistemas especialistas para auxílio a programadores inexperientes.

Na área de gerência também se aprofundam os métodos para previsão de tamanho de sistemas, passando a ser crescentemente referenciados os métodos que baseiam-se na funcionalidade da aplicação, como é o caso da técnica APF (Análise de Pontos por Função), desenvolvida por Albrecht [Albr79], originalmente proposta para medição de produtividade no desenvolvimento. Aprofundam-se os métodos de controle da qualidade no desenvolvimento, como, por exemplo o de Rocha [Roch87], baseados extensamente em métricas no processo, que são propostas em grande número.

Há uma forte tendência na intensificação do uso de capital no processo de desenvolvimento, como nota Lyytinen [Lyyt87], através de duas formas. A primeira é através do uso de ambientes de suporte ao desenvolvimento, conhecido como a tecnologia CASE (Computer Aided Software Engineering), que envolve o investimento crescente em software (ferramentas) e hardware (workstations). A segunda forma é através do uso de geradores de aplicação, associados ao uso de linguagens de muito alto nível e que podem, em muitos casos, ser utilizados diretamente pelos usuários.

A nível de governos e grandes empresas inicia-se um esforço significativo para aumentar a taxa de progresso no software. Como pode ser visto pela Fig. 3.3, foram estabelecidos inúmeros consórcios de pesquisa e desenvolvimento em software, sob a iniciativa de governos ou grupos privados, a partir da enunciação pioneira do programa de 5ª geração japonês. Eles concentram-se em 5 áreas problemáticas principais do software: precisão, produtividade, performance, manutenção e portabilidade.

PAÍS	PROJETO	ÊNFASE	ORÇAMENTO US\$ milhões	PERÍODO
USA	STARS (DoD)	Ferramentas p/ projeto de software	5	84-90
	Comp.Estratégica(DoD)	Computação paralela/IA	750-1000	84-94
	Estação Espacial(NASA)	S.O para redes/Ferramentas	8000	84-94
	Consórcio MCC	Programa ES Avançado	120	anos 80
	Consórcio SPR	Transf.tecnologia em ES	120	anos 80
JAPÃO	Comp. alta velocidade	S.O e Linguagens para Supercomputadores	200	81-88
	5ª geração	Máquina processamento conhecimento	450	82-91
	SIGMA	Ambientes de suporte à ES	100	85-90
FRANÇA	Eletrônica/Software	CASE, métodos formais, confiabil., métricas	685	83-87
	Marisis	Software para Super-computador	15	83-86
INGLAT.	ALVEY	ES	500	83-86
EUROPA	ESPRIT	ES/IA	100	84-88

Fig. 3.3 Principais projetos mundiais de P&D e Consórcios de software

Fontes: Gaio [Gaio90,pag.101] e  
ACARD [ACAR86,pag.27]

Brady & Quintas [Brad91] descrevem os principais programas. No Japão, o programa SIGMA, financiado pelo MITI e por empresas privadas, visou o desenvolvimento de um ambiente de desenvolvimento de software distribuído que permitisse a transferência de tecnologia e encorajasse a padronização. Este programa deve ser continuado por um outro ("Super SIGMA"), com dotação de US\$ 200 milhões, com a intenção de atacar os problemas de "usabilidade". Além dos programas de P&D o governo japonês subsidia firmas de software através de facilidades fiscais diversas.

Os EUA, embora não financiando programas de P&D nacionais, iniciou uma série de programas governamentais, a maioria ligados ao DoD (Department of Defense) que consideram métodos e ferramentas de software como críticos do ponto de vista militar. O SEI (Software Engineering Institute) na Universidade de Carnegie-Mellon é o primeiro laboratório com financiamento federal desde os laboratórios nucleares dos anos 50. O objetivo do Instituto é o de focalizar P&D em software, prover educação e treinamento e promover a difusão de ferramentas de ES. No campo privado, têm sido formados consórcios significativos para desenvolvimento de tecnologias de software, tais como o SPC (Software Productivity Consortium), envolvendo 20 empresas da área espacial e de computadores.

Na Europa foram estabelecidos 3 grandes programas: os programas ESPRIT e RACE, da Comunidade Européia e o programa EUREKA, pan-europeu. No programa ESPRIT I, 20% do orçamento destinava-se a P&D em software. Na Inglaterra, o programa britânico ALVEY apoiou P&D em 4 áreas tecnológicas de software: IPSE's (Integrated Project Support Environment) e ferramentas, métodos formais, confiabilidade e métricas e ferramentas de software baseadas em conhecimento. O objetivo do programa era o de ampliar a comunidade de ES através da criação de ligações entre a universidade e a indústria e o de desenvolver métodos e ferramentas que, quando difundidos, melhorassem a competitividade dos produtores de software britânicos.

Apesar de todo esse esforço, a constatação geral, melhor descrita na seção 3.3, é de que a difusão das inovações de processo no desenvolvimento de software foram muito lentas e, apesar de toda evolução, a "crise de software" permanece.

### 3.2.2 Visão do processo de produção em software

A compreensão do processo de desenvolvimento de software representa uma série de desafios em termos tecnológicos, administrativos e econômicos. Uma das principais dificuldades é a natureza especial do software, ainda pouco compreendida, que permite visões do mesmo, de certa forma antagônicas, como arte ou como ciência.

A ES adota, evidentemente, o enfoque científico. Entretanto há muitos autores, como por exemplo Brooks [Broo87] que defendem uma visão do software como arte, ainda que de forma parcial. Brooks ainda vê restrições nas tecnologias atuais, advogando, como uma das estratégias para o desenvolvimento de software de forma produtiva, a contratação de projetistas brilhantes (!).

Gaio [Gaio90] faz um interessante contraste entre o processo de produção de software com aquele da indústria manufatureira.

Na indústria, os sistemas de produção compreendem um complexo físico de bens, tais como plantas, estoques de materiais e maquinaria. Um elemento comum destes sistemas é o fluxo de materiais transformado através de uma série de processos físicos ao longo de uma série de locais de trabalho.

Para a produção de software, o fluxo de materiais não é uma questão relevante. Por sua própria definição, ele é considerado independente de seu meio físico; o que importa é a informação armazenada, o conhecimento incorporado, de forma codificada. Consequentemente, software não se desgasta, não é depreciado, num sentido físico.

Outro ponto importante ressaltado por Gaio é que a maioria dos recursos e custos envolvidos estão concentrados no desenvolvimento, ao passo que a reprodução ou o trabalho de fazer cópias é considerado desprezível, novamente em contraste com as tecnologias manufatureiras. Entretanto, tanto a reprodução quanto a distribuição são também elementos importantes para a compreensão do processo de difusão em software.

A visão da ES sobre o processo de produção é baseada em ferramentas conceituais importantes: os chamados modelos de ciclo de vida, sendo o mais popular o modelo de "cascata" ou sequencial, que tem muitas versões na literatura.

A figura 3.4 mostra um esquema simplificado, apresentando o ciclo de vida em cinco estágios separados e tenta expressar a sua natureza dinâmica. Entretanto, este método isola fases que, de fato, funcionam de forma cíclica e inderpendente através de constantes "loops" de avaliações sistemáticas e revisões. Este defeito é particularmente evidente em grandes projetos, onde a complexidade cresce não linearmente com o tamanho do software.

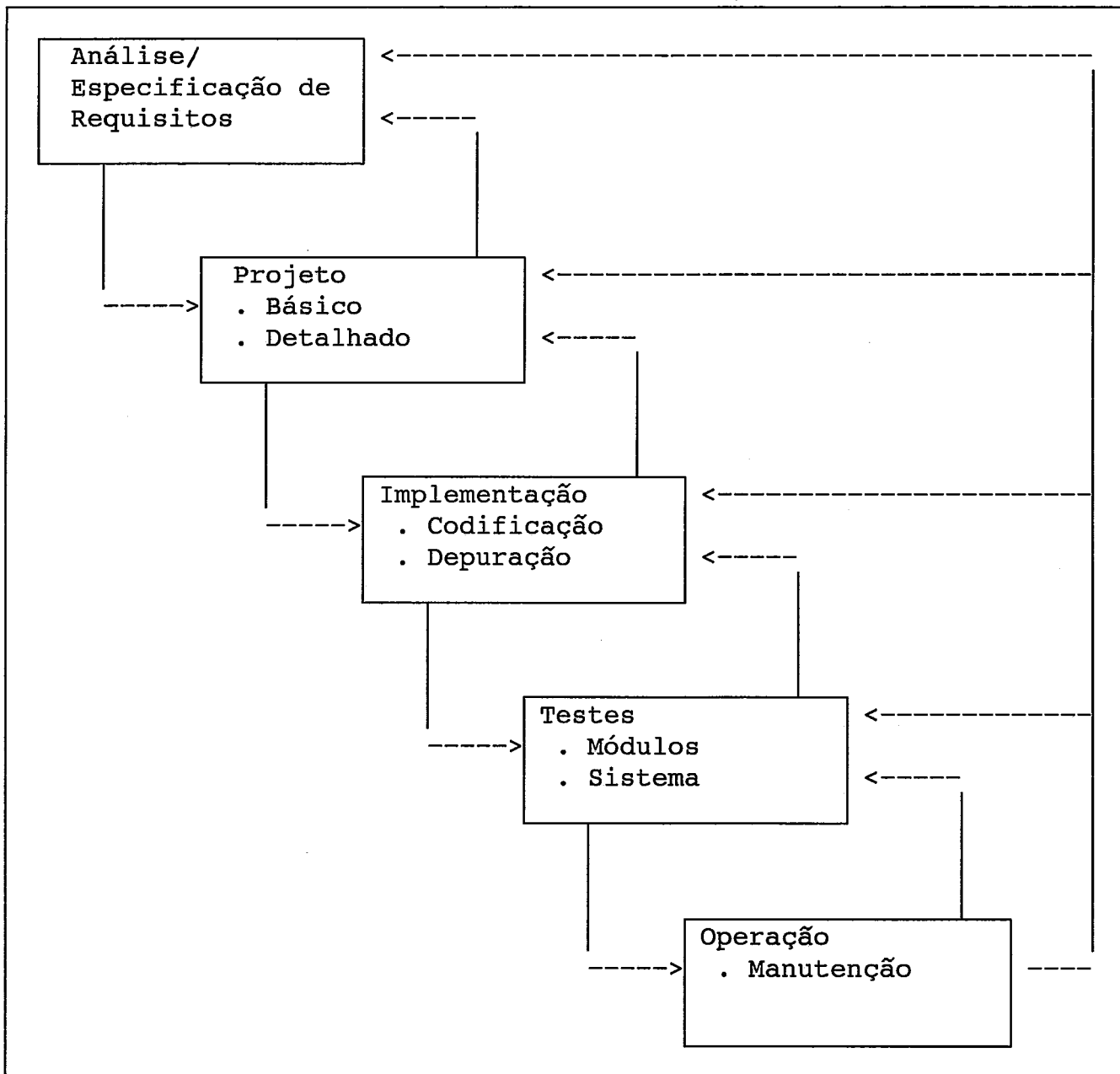


Fig. 3.4 Modelo "em cascata" do Ciclo de Vida do Software



Gaio [Gaio90] acentua que um aspecto importante para caracterizar a natureza cíclica do processo de desenvolvimento é a fase de Manutenção que, de fato, permeia o ciclo de vida. Manutenção tornou-se um fator crucial por várias razões: custo crescente, qualidade e confiabilidade baixas de muitos produtos de software e o estabelecimento de ligações entre produtores e usuários, que refletem uma natureza intrinsecamente cíclica e interdependente do software.

Há um considerável desacordo com relação à importância relativa da manutenção, que pode ser interpretado como um reflexo da grande diversidade de produtos e serviços englobados pelo software. Por um lado, tem havido grande preocupação com os custos de manutenção, particularmente entre usuários de grandes sistemas, suportado pela estimativa de Fairley [Fair85] de que não menos que 60% (em alguns casos 90%) do esforço gasto no desenvolvimento é atribuído à Manutenção. Por outro lado, novos "releases" não são tradicionalmente considerados como manutenção, mesmo que eles também reflitam a natureza incremental do software, noção central à Manutenção. Na prática, Manutenção é um termo confuso e que designa um número variado de funções: correções de erros de projeto, adaptações, melhoras funcionais geradas por alterações nas condições das funções atuais em modelagem ou por mudanças nas especificações dos sistemas de computação e, ainda, melhorias no desempenho.

Na perspectiva do pessoal de desenvolvimento, a Manutenção funciona como um fator de dependência. O fluxo contínuo de informação estabelecido através da Manutenção é uma maneira de manter os clientes, a fim de compensar as baixas taxas de apropriabilidade privada das inovações e de contornar os atuais defeitos nas leis ligadas aos direitos de propriedade intelectual.

A conceituação de ciclo de vida, nos anos 70, ajustou-se a outras propostas da ES no sentido de tornar o processo de desenvolvimento mais controlável e teve importantes ligações com as carreiras profissionais da área de Informática e as formas de controle do trabalho. A consolidação da profissão de analista de sistemas nasce nesse contexto, segundo Tierney [Tier91]. Alguns autores, como Kraft [Kraf79], interpretaram as iniciativas dos anos 70 ligadas à ES, dentre elas os métodos estruturados, como estratégias de fragmentação e desqualificação do trabalho de desenvolvimento, especialmente em análise e programação, já que a separação em fases tornavam as tarefas menores, mais simples. Além disso, os métodos estruturados tornavam o trabalho menos dependente de indivíduos. Essa estratégia seria, também, uma resposta gerencial à escassez de mão de obra e altos salários.

Entretanto Friedman [Frie86] constatou o relativo fracasso da estratégia mencionada já que notou uma crescente convergência entre as atividades de análise e programação, nos anos 80. De certa forma esse fracasso resultou da resistência dos técnicos qualificados da área, que conseguiram manter sua posição de força no mercado dentre outros fatos por se identificarem mais com a tecnologia envolvida do que com as organizações onde trabalhavam.

Tierney [Tier91] ressalta a diversidade e fluidez na definição das ocupações ligadas ao desenvolvimento e o quanto estão constantemente sendo redefinidas. Recentemente assiste-se em muitas organizações a uma nova clivagem na profissão de análise, destacando-se de um lado um profissional mais voltado ao aproveitamento estratégico das tecnologias de informação (analista de informações, analista de negócios) e do outro um profissional mais voltado aos aspectos computacionais dos sistemas (engenheiro de software, analista projetista).

Algumas atividades gerenciais no processo de desenvolvimento de software têm sido especialmente penosas, dentre elas as de estimar custos e medir produtividade. Um método comum usado para quantificar a produtividade do trabalho é o número de instruções geradas por unidade de mão de obra/tempo. Brooks [Broo75] critica este tipo de indicador, que tenta tornar intercambiáveis as variáveis mão de obra e tempo, desprezando as peculiaridades do processo.

Tem sido observada uma grande variação na produtividade de programadores. Esta diversidade reflete a natureza criativa e intensiva em conhecimento do desenvolvimento de software, casada a interdependências sistêmicas. Conseqüentemente, o caráter intensivo em mão de obra do processo de desenvolvimento de software não confere flexibilidade na alocação de recursos humanos. Ao contrário, aumento nas quantidades de pessoas alocadas a um projeto pode levar a deseconomias de escala, minando a eficiência gerencial, comunicações e níveis de qualidade, como argumentou Brooks.

Começa a se tornar popular um método de medição de produtividade baseado nos elementos estruturais de uma aplicação: a Análise por Pontos por Função, desenvolvido por Albrecht [Albr79] da IBM. Entretanto as previsões de custos e tempo de desenvolvimento continuam a ser largamente baseadas na experiência passada com projetos similares.

Uma caracterização do processo de desenvolvimento de software que passa a ter grande aceitação é a que foi realizada por Humphrey [Hump87], conhecida como o modelo de níveis de maturidade.

Essa caracterização visou inicialmente subsidiar o DoD (Department of Defense) americano para a análise de empresas contratadas para o desenvolvimento de aplicações. Assiste-se hoje a uma aceitação crescente à classificação elaborada. O processo de desenvolvimento de software é visto em 5 níveis de maturidade:

- a) Inicial  
Enquanto o processo de desenvolvimento não estiver sob controle estatístico, nenhum progresso ordenado na melhoria do processo é possível.
- b) Passível de repetição  
Alcança-se um processo estável, com um nível de controle estatístico que possa ser repetido, pela adoção de gerência rigorosa de compromissos, custo, cronograma e mudanças nos projetos.
- c) Definido  
A definição do processo é necessária para assegurar implementação consistente e para prover uma base para melhor compreender o processo. Neste ponto, é provável que tecnologias avançadas possam ser introduzidas de forma útil.
- d) Gerenciado  
Seguindo-se ao processo definido, é possível iniciar medidas no processo. É aqui que começam aparecer as melhoras de qualidade mais significativas.
- e) Otimizado  
Com um processo medido, há fundações para uma melhoria continuada e otimização do processo.

Esse modelo fornece um esquema para o estabelecimento de um programa de melhorias nos processos de desenvolvimento de software, sendo bem provável que a maioria das empresas encontre-se no nível inicial de maturidade.

Como última consideração sobre o processo de produção em software, ressalta-se uma dificuldade adicional para a melhoria dos seus processos de desenvolvimento: o grande gargalo, na maioria dos países, a nível de gerentes de projeto, cuja falta leva à limitação

no crescimento do pessoal de desenvolvimento, como mostrado em IDC-C&L [IDC86].

### 3.3 Estudos sobre difusão de ES

A despeito do imenso esforço mundial em ES nas décadas 70 e 80, vários estudos têm indicado que os métodos e práticas preconizados estão se difundindo muito lentamente nas empresas. Quintas [Quin91] afirma que as barreiras à difusão são complexas e variadas, tendo origens sociais, culturais, organizacionais e institucionais.

A seguir são discutidos alguns estudos que analisam este fato e tentam identificar causas e propor caminhos para a superação das dificuldades na evolução dos processos de desenvolvimento de software.

Friedman [Frie86] fez uma extensa pesquisa em empresas usuárias de tecnologia de informação, denominada rede ICON, em países europeus, EUA e Japão. A pesquisa foi concluída em 1986 e constatou-se que a difusão de ES era baixa nas empresas estudadas. No caso de empresas americanas cerca de 2/3 delas utilizavam métodos estruturados para o desenvolvimento de software, sendo que a metade destas não utilizavam os métodos com o rigor preconizado pela ES, mas "flexivelmente", o que muitas vezes significa abandonar métodos diante de pressões por cumprimento de prazos. Destacou-se a constatação de que em muitas empresas os gerentes de desenvolvimento tinham até mesmo posição contrária a tais métodos.

Revie [Revi85] analisou a difusão de ES em empresas inglesas produtoras de aplicações de software nas áreas científica e manufactureira. Foi detectada uma baixíssima difusão de métodos, técnicas e ferramentas da ES nas empresas analisadas. O estudo focou-se, também, na busca de fatores determinantes na difusão de ES, tendo sido encontrados os seguintes pontos:

#### a) Posição da firma no ciclo de vida da indústria

Foi observado que a preocupação real de uma empresa com estratégias tecnológicas, consubstanciada em políticas de longo prazo para tecnologias, depende do posicionamento da firma com relação à curva de crescimento da indústria onde ela se insere. As empresas em posição "madura" têm a postura mencionada acima, encarando as tecnologias como armas estratégicas, enquanto que as empresas "imaturas" estão preocupadas apenas com questões e pressões de curto prazo, lidando com a questão tecnológica de

forma casual.

Tais observações foram particularizadas para o caso da ES, cujo grupo de tecnologias eram consideradas vitais para as empresas "maduras" da área de desenvolvimento de aplicações.

b) Mão de obra especializada

Este foi um fator importante na difusão da ES para todas as empresas estudadas. A carência de mão de obra especializada era um problema geral que dificultava a difusão, visto a especialização que a ES requer. Mesmo o pessoal especializado apresenta mais uma formação teórica que prática, o que em muitos casos é insatisfatória. A alternativa de treinamento do pessoal existente em ES choca-se com a dificuldade de liberação dos candidatos naturais, justamente os melhores técnicos, geralmente muito ocupados e presos aos projetos em desenvolvimento.

c) Evidência demonstrável do valor da ES

Este parece ser um ponto crucial na difusão de ES. Até hoje, os produtores de tecnologias de ES têm se preocupado pouco com o convencimento efetivo de potenciais utilizadores dessas tecnologias, não se demonstrando de forma palpável as vantagens das mesmas. As evidências são esparsas e inacessíveis. A falta de evidências claras das vantagens da ES torna muitos gerentes de desenvolvimento relutantes em partir para os investimentos em treinamento, equipamentos e software que a ES requer.

d) Padrões

A preocupação com padrões é geral e sua inexistência no contexto da ES é uma barreira à difusão desta. Uma preocupação particular foi verificada no tocante às ferramentas existentes para suporte às diversas fases do ciclo de vida do desenvolvimento de software. Elas têm muito pouca integração e interface humana muito diversificada.

e) Compatibilidade

Foi percebida uma questão particular de incompatibilidade "psicológica" entre os métodos formais e as práticas existentes. Em geral percebeu-se que há boa receptividade por parte dos técnicos para os métodos da ES, a não ser no caso dos métodos formais. Tal classe de métodos é percebida como uma ruptura muito radical em relação às práticas existentes e tende a ser rejeitada. Além disso, muitos técnicos e gerentes têm dúvidas de que tais métodos atendam de fato às necessidades existentes.

Quintas et alii [Quin89] avaliaram o segmento de ES do programa inglês ALVEY, descrito na seção 3.2.1 enfatizando os pontos a seguir: o programa foi considerado um mecanismo efetivo de suporte à expansão da comunidade inglesa de pesquisa em ES, bem como no tocante a levar a Inglaterra ao estado da arte nas áreas de métodos formais, ferramentas e métricas de desenvolvimento de software. Entretanto os autores constataram grandes dificuldades na difusão de ES mesmo internamente nas próprias empresas que participaram ativamente dos diversos projetos do programa. Imagina-se que as dificuldades apontadas na avaliação dos resultados do ALVEY possam ser de utilidade para analisar outras situações.

Foram detectados fatores culturais, sociais e institucionais inibidores da transferência de tecnologia de ES dos laboratórios para o restante da empresa. Os fatores analisados foram: mão de obra especializada, gerência do processo de desenvolvimento de software e organização do trabalho, estrutura da carreira do pessoal, síndrome do "Não inventado aqui", padrões de investimentos ao longo do ciclo de vida do software, mecanismos de transferência de tecnologia, comprometimento da gerência e padrões. Custo não foi considerado separadamente, estando embutido em quase todos os fatores mencionados.

A seguir uma breve discussão de cada fator:

a) Mão de obra especializada

Os desenvolvedores de software existentes estão defasados com relação aos novos métodos, técnicas e ferramentas, especialmente os métodos formais, e isto é um fator de resistência a uma ES avançada. Muita gente vê ES como ameaça por não ter a habilitação requerida, ao mesmo tempo que vê a perspectiva de seus conhecimentos tornarem-se obsoletos. Neste ponto os resultados deste estudo diferem dos encontrados por Revie [Revie85]. Percebeu-se aqui, além das dificuldades esperadas para o treinamento do pessoal existente (custo e dificuldade de afastamento), a resistência da gerência pela queda de produtividade inicial na adoção de novos métodos.

b) Gerência do processo de desenvolvimento e organização do trabalho

Os métodos da ES requerem mudanças radicais na gerência do processo e na organização do trabalho de desenvolvimento de software. Em particular, é necessário o aumento de ênfase em análise e projeto em detrimento da codificação. Grande parte do mundo real de desenvolvimento de software ainda baseia-se em artesanato e criatividade, com bastante autonomia de analistas e

programadores sobre como realizar as tarefas. Com a introdução de ES, a organização do trabalho deve ser mais formal, estruturada, gerenciada e monitorada. Os desenvolvedores de software podem resistir a tais mudanças. Pode haver também objeções a métricas, passíveis de serem interpretadas como tentativas de monitoração e avaliação de desempenho de pessoal, a partir de critérios considerados inapropriados por analistas e programadores. As mudanças requerem comprometimento e suporte da gerência de alto nível, inclusive para monitorar as reações negativas à monitoração de desempenho.

c) Estrutura da carreira do pessoal

Confirmaram-se as constatações de Friedman [Frie86] de tendência à escolha de generalistas para as funções de desenvolvimento de software. A introdução de ES deverá requerer mudanças nas qualificações necessárias a essas funções, principalmente no sentido de maior ênfase em Matemática, Engenharia e Ciência da Computação. Tais mudanças podem se refletir nas carreiras existentes e constituem uma ameaça para analistas, programadores e gerentes existentes.

d) Síndrome do "Não inventado aqui"

Trata-se da resistência a métodos trazidos de fora. Isto foi observado especialmente no contexto do programa ALVEY, mesmo para grupos de uma mesma empresa. Grupos de P&D, ligados ao programa ALVEY, que foram organizados como unidades isoladas, passaram a ser visto pelos demais grupos de desenvolvimento da própria empresa como equipes externas.

e) Padrões de investimento ao longo do ciclo de vida do software

Os novos métodos da ES modificam o perfil dos custos ao longo do desenvolvimento. Em relação aos métodos tradicionais, aumentam substancialmente os custos das fases iniciais. Entretanto, as expectativas tradicionais representam uma rigidez institucional, tanto do lado do desenvolvimento quanto dos clientes, sendo necessária uma mudança nas expectativas do comportamento de custos. Podem ser de utilidade demonstrações de que o aumento de custos nas fases iniciais será compensado por codificação, testes e manutenção mais baratos. Por outro lado, a ES tende a tornar o desenvolvimento um processo intensivo em capital, na medida em que se adotem ferramentas e estações de trabalho para os desenvolvedores. As empresas não estão dispostas a se comprometerem com o alto investimento necessário, a menos que tenham clareza das vantagens envolvidas. Isto reforça a necessidade de projetos de demonstração, métricas efetivas para

medir e avaliar benefícios, além de programas de conscientização dirigidos aos usuários dessas tecnologias emergentes.

f) Mecanismos de transferência de tecnologias

Nas empresas estudadas, verificou-se que os mecanismos de transferência de tecnologias eram inadequados para vencer as barreiras entre P&D e as unidades de negócio. Os mecanismos usados foram o de "venda" das tecnologias pelos próprios pesquisadores das unidades de P&D, além de algumas outras formas baseadas na imposição das tecnologias pela gerência superior. Ficou claro que o pessoal de pesquisa não foi hábil na venda de seus resultados e que imposições funcionam muito pouco, sendo indispensável a motivação dos potenciais receptores das novas tecnologias.

g) Comprometimento da gerência

Como a introdução de ES está associada a mudanças de variadas ordens tais como custos de educação e treinamento de pessoal, além de capitalização crescente do processo, alterações nos processos de gerência e organização do trabalho é necessário o suporte gerencial em vários níveis: gerência superior, gerência média e gerência de projeto. Para as gerências superior e média, os benefícios da ES não estão claros, em geral. Por sua vez, o gerente de projeto está pressionado por prazos. Isso explica a dificuldade e o desafio na obtenção do suporte gerencial adequado.

h) Padrões

Há dois aspectos no debate sobre padrões que afetam a difusão de ES: normatização entre versões competidoras de novas tecnologias e padrões (critérios) para medição do nível de qualidade e confiabilidade de sistemas.

No primeiro caso é óbvio que a ausência de padrões inibe a difusão de novas tecnologias, por receios de obsolescências e perda de investimento por parte do consumidor. No ALVEY, isso foi notado relativamente à linguagem Z de especificação, que tinha versões diferentes disponíveis. Por outro lado, a definição precoce de padrões inibe a exploração de caminhos alternativos. Com relação ao segundo aspecto sobre padrões, a definição e adoção de critérios para certificação de qualidade de software não parece problemática, pois depende mais dos usuários. O governo pode atuar de forma positiva, dado o seu poder de contratação. Por exemplo, o Departamento de Defesa inglês já está adotando padrões para sistemas críticos, com resultados positivos.



A partir da análise dos resultados do ALVEY, Quintas et alii sugerem ao governo inglês uma série de mecanismos para induzir a difusão de ES na Inglaterra:

- a) Esforços de P&D no sentido do desenvolvimento de projetos de demonstração das vantagens da ES, para convencimento especialmente das gerências. Tais esforços devem ser complementados pelo aperfeiçoamento de métricas para qualidade, confiabilidade e produtividade.
- b) Uma política de educação e treinamento que leve em conta não só a formação de novos profissionais em ES, mas que recicle técnicos e gerentes existentes, através de benefícios fiscais às firmas.
- c) Utilização do poder de compra do Estado para estimular o uso de ES em projetos de software contratados, militar ou civil.
- d) Patrocínio do estabelecimento e difusão amplos de padrões para qualidade de software e performance de sistemas.
- e) Programas para aumento da conscientização da necessidade do uso da ES, especialmente junto aos grandes usuários e clientes.

Um outro estudo feito por Quintas [Quin90] em 8 países da OECD chegou a conclusões semelhantes às mencionadas acima.

Uma avaliação do projeto japonês SIGMA, feita por Miyazaki [Miya90] apresentou evidências do seu relativo fracasso, no tocante à difusão de ES. Ao final do projeto as ferramentas e a estação de trabalho para desenvolvimento de software produzidas têm muito pouca aceitação comercial e estão imersas em problemas de padrões e de escopo. Os usuários potenciais queixam-se de que o projeto dirigiu-se mais aos aspectos de programação que de análise e projeto, considerando-se o desenvolvimento de software. Além disso, há rejeição do sistema operacional adotado na estação de trabalho, com preferência ao UNIX, devido à sua grande disseminação no mercado japonês. Em vista desses problemas, esperava-se o estabelecimento de um novo projeto cujo foco fosse o de aumentar a "usabilidade" dos produtos gerados no projeto original.

Um outro trabalho de destaque foi o realizado pelo CSTB (Computer Science and Technology Board) do NRC (National Research Council) dos EUA, que reuniu grandes especialistas americanos para analisar a Pesquisa e Desenvolvimento em ES naquele país e gerar sugestões para uma reorientação dessas atividades [CSTB89].

Esse grupo constatou mais uma vez os imensos problemas de software americanos, a reduzida difusão de ES e a baixíssima produtividade no desenvolvimento de software. Além disso detectou certas lacunas específicas em ES, dentre as quais: tecnologias para garantir o alcance de alguns requisitos específicos para certos sistemas tais como alta segurança e alta confiabilidade; tecnologias para o aperfeiçoamento continuado de software existente; disciplina pragmática para o teste de sistemas; métodos para gerência de grandes projetos.

Dentre as linhas de ação recomendadas pelo grupo para P&D nos EUA, destacam-se: criação de "handbooks" com o conhecimento já existente sobre ES, tal como existente em outros ramos da Engenharia, para ampla divulgação; aproximação da ES com outras disciplinas, visando ampliar o contexto da ES, especialmente no caso de ciências do comportamento e da administração; aproximação da comunidade de P&D com os usuários de ES, especialmente para a exploração "in situ" de grandes projetos.

O estudo patrocinado pelo CSTB evidencia um aspecto pouco discutido sobre a ES: as limitações das tecnologias envolvidas. Embora o objetivo desta tese seja o de verificar a difusão de ES do ponto de vista da demanda, algumas limitações da ES podem ser percebidas pelos usuários e funcionar como fator inibidor da sua difusão até mesmo como reforço a outros tipos de resistências. Entretanto essa questão não vai ser aprofundada, sendo, certamente, um interessante campo a ser investigado.

### 3.4 Fatores determinantes da difusão de Engenharia de Software

Os fatores determinantes da difusão de inovações escolhidos para estudo e listados no final do Capítulo 2, particularizam-se, de alguma forma, para a ES.

A seguir, esses fatores são revisitados, descrevendo-se algumas das particularidades que podem ser encontradas no estudo de caso, para cada um deles.

#### a) Racionalização

Redução de custos e racionalização de processos são normalmente grandes motivadores para a adoção de inovações, especialmente em empresas maduras, favorecendo, conseqüentemente, sua difusão. Este deveria ser um dos grandes motivadores para a adoção de ES. Entretanto alguns autores como Revie [Revi85] não detetaram essa motivação nos casos estudados. No caso da Petrobrás, a pressão por reduções de custos não vêm de sua posição no ciclo da indústria, já que a empresa opera um monopólio. Essa pressão parece vir das cobranças por eficiência a que a empresa está sendo submetida nos últimos anos, dada a política de privatização reinante.

#### b) Categoria de estratégia tecnológica

Estratégias ofensivas geram na empresa uma cultura não resistente a inovações, mesmo quando diante de fracassos, favorecendo, assim, a difusão de inovações. Os estudos do Revie constataram este fator como importante para a difusão de ES nos casos estudados. Sendo a Petrobrás uma empresa reconhecidamente inovadora, espera-se, também, fazer esse mesmo tipo de constatação.

#### c) Planejamento estratégico tecnológico

Uma das formas de evidenciar a preocupação de empresas com a tecnologia é a existência de um planejamento estratégico tecnológico que explicita a estratégia tecnológica a ser adotada e as formas organizacionais para aquisição das tecnologias chave para as mesmas. Revie também constatou a presença deste fator nos casos estudados. Entretanto, as empresas que estudou eram, na maioria, "software houses". Será interessante verificar o que ocorre em uma empresa cuja atividade fim não é o desenvolvimento de software.

#### d) Estilo de gerência

Gerência participativa, ao invés de autoritária, tem sido

apontada como um fator favorável ao surgimento de inovações. Este fator não é explicitamente mencionado nos estudos examinados mas também deve ser importante para o caso de ES.

e) Rede de comunicações

Empresas inovadoras estabelecem uma rede de comunicações internas e externas adequada. As comunicações externas dirigem-se tanto à comunidade técnico-científica quanto ao mercado. Como há uma multiplicidade de métodos/técnicas/ferramentas ligados à ES propostos é provável que este fator se realce no tocante às fontes para a idéia de adoção de inovações de ES.

f) Estrutura organizacional para o surgimento de inovações

Empresas que se organizam para inovações experimentam formas organizacionais diversas entre os extremos de especialização e divisionamento, para aquisição de competência. Consideram, também, o aspecto centralização x descentralização, no tocante à percepção de oportunidades de inovação. O que se ressalta é a experimentação de estruturas organizacionais flexíveis, especificamente orientadas para o surgimento de inovações. No caso da Petrobrás será interessante poder-se contrastar as situações centralizadas x descentralizadas já que, como será mostrado no próximo capítulo, o desenvolvimento de sistemas nessa empresa é bastante descentralizado.

g) Estrutura organizacional para a absorção de inovações

Um aspecto facilitador na introdução de inovações em uma empresa, especialmente inovações de processo, é a criação de estruturas organizacionais específicas que minimizem os problemas naturais da entrada em produção de inovações. Vários enfoques têm sido usados, dentre eles a criação de grupos de ligação, transferências de pessoal e criação de unidades autônomas para exploração da inovação. Nos últimos anos as grandes empresas de Informática têm criado estruturas organizacionais específicas para absorção de inovações: os chamados Centros de Desenvolvimento e os Centros de Informação. Essa questão deverá ser verificada no estudo a ser feito.

h) Figuras humanas chave

A existência de diversas figuras chave, dentre elas os patrocinadores, os geradores de idéia, os "campeões" de produto, é muitas vezes um fator diferenciador para o sucesso de inovações. Não parece haver particularidades deste fator no caso da ES.

i) Escolha de tecnologias

Têm sido identificados comportamentos gerenciais "não racionais" na escolha de tecnologias, especialmente em países em desenvolvimento. Esses comportamentos privilegiam aspectos estéticos, de segurança, minimização de riscos e conforto na gerência de pessoal em detrimento de aspectos de adequação econômica e social. Esses comportamentos influenciam a difusão de inovações. É interessante verificar se essa questão se acentua no caso de ES, à luz dos estudos da Tierney [Tier91], que indica serem os técnicos de desenvolvimento mais identificados à tecnologia do que às empresas onde trabalham.

j) Orientação para o mercado

Empresas inovadoras orientam-se fortemente para o mercado, compreendem bem as necessidades existentes, aproveitam oportunidades de inovações pelo conhecimento dessas necessidades, bem como muitas vezes absorvem e desenvolvem uma inovação nascida no mercado. Recentemente as organizações de Informática estão se preocupando mais com um melhor atendimento aos usuários. É interessante verificar como essas preocupações estão se refletindo na adoção de novos processos de desenvolvimento.

k) Gerência de projetos

Uma "boa" gerência de projetos é fator de sucessos em inovações e, portanto, influenciador na difusão das mesmas. Desenvolvimento eficiente, associado a outros fatores (dentre eles a presença do "campeão" do projeto e a estrutura organizacional matricial) são aspectos importantes na "boa" gerência. A literatura aponta para uma escassez de gerentes de projetos de desenvolvimento de software. Será oportuno tentar identificar essas questões no estudo de caso.

l) Capacitação do pessoal

A capacitação de pessoal é fator fundamental para a introdução de inovações, especialmente para o desenvolvimento necessário das inovações que deve ocorrer após sua introdução. Alguns estudos ([Revi85], [Quin89]) identificaram a escassez de mão de obra qualificada como uma barreira séria à difusão de ES. Será que isso ocorre no caso da Petrobrás, empresa onde um dos principais valores é a competência técnica?

m) Compatibilidade

A percepção da compatibilidade da nova tecnologia com as práticas existentes pode ser um fator favorável à difusão dessa nova tecnologia (padrão). Quanto maior a mudança na qualificação de

pessoal necessária maior a tendência a resistências à nova tecnologia. Nos mesmos estudos mencionados para o fator anterior, a falta de padrões de ES, especialmente no caso de ferramentas CASE, foi identificado como uma barreira importante à difusão. Foram também detectadas incompatibilidades "psicológicas" derivadas da distância entre os métodos propostos pela ES e a prática de desenvolvimento existente. No estudo de caso essas questões serão endereçadas.

n) Vantagem relativa

As vantagens explicitadas da nova tecnologia sobre a antiga favorecem sua adoção. As vantagens podem ser econômico-financeiras, ergonômicas, facilidades de gerência etc. Como já foi mencionado no primeiro fator, as vantagens de custo/benefício não têm sido as motivações básicas para a adoção de ES. No estudo de caso pretende-se identificar as vantagens percebidas nas tecnologias de ES adotadas.

o) Recursos dos fornecedores

A percepção de limitação de recursos dos fornecedores para o desenvolvimento da inovação, que necessariamente deve ocorrer logo após sua introdução no mercado, pode funcionar como uma barreira à difusão de inovações. Essa questão não foi percebida nos estudos de difusão encontrados. Entretanto foi detectada por Quintas [Quin89] uma resistência a métodos trazidos de fornecedores externos. Essas questões serão verificadas, no caso da Petrobrás.

p) Complementaridades

A percepção da necessidade de desenvolvimentos complementares em outras tecnologias, para o desenvolvimento de uma inovação, pode retardar a sua adoção; por outro lado, a possibilidade de desenvolvimento de outras tecnologias a partir da introdução de uma inovação pode funcionar como estímulo à sua adoção. Uma questão de complementaridade a ser verificada é a confirmação dos desajustes mencionados por Valdez [Vald88] entre o desenvolvimento de software e os Sistemas de Informação.

q) Amadurecimento

Usuários podem considerar arriscado adotar tecnologias muito recentes, enquanto outros podem justamente valorizar esse risco, visando tirar vantagem do pioneirismo. No caso de ES, onde se tem um conjunto de métodos/técnicas/ferramentas muito grande e com maturidades desiguais, este fator deve ser especialmente relevante. Revie [Revi85] detectou uma atitude de reação à ES

derivada da pressão em comercialização de ferramentas CASE imaturas.

r) Experimentabilidade

Quanto maior a possibilidade de experimentação, menores incertezas serão associadas a uma inovação e maiores as chances de se considerar favoravelmente sua introdução na empresa. Este fator não parece ter questões particulares no caso da ES.

s) Esforço de aprendizado

A percepção de um esforço muito grande para utilizar a inovação e de mudanças na qualificação de pessoal pode funcionar como fatores de reação à inovação. Nos estudos já mencionados, [Revi85] e [Quin89], verificou-se a falta de consciência gerencial para a questão da curva de aprendizado, no caso de adoção de ES. Será importante confirmar esses estudos na Petrobrás.

t) Custo

Caso o padrão de investimento requerido pela nova tecnologia afaste-se dos padrões praticados na empresa, poderão surgir resistências à adoção das inovações. No caso do desenvolvimento de software, onde há uma clara tendência à intensificação de capital essa questão deve ser especialmente relevante. Como estará sendo a reação do pessoal a essa mudança de padrão de investimentos?

## Capítulo 4. O ESTUDO DE CASO NA PETROBRÁS

Neste capítulo será feita, inicialmente, uma breve caracterização da Petrobrás e da organização das atividades de informática na mesma, para melhor se situar os estudos de caso feitos. É dado um destaque especial à atividade de desenvolvimento de sistemas corporativos, especialmente no SERINF. No final do capítulo são descritas, resumidamente, as iniciativas de adoção de inovação estudadas.

### 4.1 Uma breve caracterização da Petrobrás

Em 1953 a Petrobrás (Petróleo Brasileiro S.A.) foi criada, por meio da lei 2004, para exercer, em nome do governo, o monopólio do petróleo, obedecendo aos princípios básicos de investir o seu lucro no país para estimular o crescimento industrial, de praticar preços sociais e de promover a integração nacional. O monopólio foi ratificado na última constituição nacional, em 1988, pela quase unanimidade dos constituintes.

A história da Petrobrás é a de um crescimento excepcional, constituindo hoje um imenso sistema em torno de atividades relacionadas ao petróleo, de forma semelhante a que ocorre com muitas das empresas congêneres em todo o mundo. O grupo Petrobrás é formado por um conglomerado de cerca de uma centena de empresas, entre subsidiárias, controladas e coligadas.

A empresa "holding" é responsável pela atuação nas áreas do monopólio estatal, ou seja: Exploração, Perfuração, Produção, Refino, Transporte e Comercialização de petróleo e derivados. As empresas subsidiárias da Petrobrás foram criadas por necessidade direta da própria indústria petrolífera ou para atender a exigências do desenvolvimento do país, preenchendo atividades nas quais a iniciativa privada não teve interesse em atuar. Essas empresas operam nas áreas petroquímica, de distribuição de derivados, de fertilizantes, de prospecção de petróleo no exterior. Normalmente as controladas e coligadas estão ligadas às subsidiárias [Pet192].

Em termos financeiros os números envolvidos são significativos. O faturamento bruto da empresa em 1991 foi de cerca de US\$ 15 bilhões, tendo sido responsável por 2,5% do PIB brasileiro e pela geração de 70 mil empregos diretos e 3 milhões de empregos indiretos [Pet292]. Em 1991 a produção brasileira correspondeu a US\$ 9,2 bilhões, considerando-se os preços internacionais. Foram investidos US\$ 809 milhões em compras de materiais e equipamentos no País, correspondendo a 85% de suas compras.



A empresa tem se submetido, ao longo da sua existência, aos mais diferentes testes de eficiência, aceitando e vencendo desafios, tais como a liderança na distribuição de derivados, na prospecção de petróleo (a empresa tem encontrado campos de petróleo, alguns gigantes, até mesmo em áreas onde companhias estrangeiras atuaram, mediante contratos de risco, nada encontrando), na liderança da tecnologia de produção em águas profundas, o que pode ser exemplificado pelo prêmio OTC - Offshore Technology Conference - considerado o prêmio "Nobel" da indústria petrolífera, recebido em 1992, pelo desenvolvimento tecnológico efetuado.

Novaes [Nova91] oferece um panorama da evolução das estratégias empresariais da Petrobrás, que auxilia na compreensão da trajetória dessa empresa, apresentado, de forma resumida, a seguir:

- a) Estratégia adotada quando da criação da empresa: Atender a demanda brasileira de derivados combustíveis, implantar um parque de refino e criar uma infraestrutura de transportes para interligar as fontes de produção às de consumo, o que requereu uma grande concentração de recursos.
- b) Período de 1964 a 1977: A estratégia anterior se amplia, iniciando-se uma diversificação de atividades, inclusive com a atuação no exterior. Foi a época da criação das subsidiárias.
- c) Período 1977 a 1985: Nova ampliação da estratégia, no sentido do aumento da produção nacional. Isto leva a grande concentração de recursos e esforços no desenvolvimento da produção nacional, obtendo resultados considerados muito satisfatórios, mas aumentando a complexidade das decisões na empresa.
- d) A partir de 1986: A empresa volta-se para o atendimento do mercado nacional e torna-se importante a busca de maior integração na gestão do complexo empresarial formado.
- e) Na atualidade, a empresa está em processo de reavaliação de suas estratégias, face a uma série de questões do momento, dentre as quais a orientação governamental rumo às privatizações e à internacionalização da economia.

Novaes também analisa a estrutura organizacional da Petrobrás, onde ressaltam-se dois marcos principais. O primeiro deles foi a organização inovadora inicial: a direção é colegiada (composta por um Conselho de Administração e uma Diretoria Executiva) e as operações são descentralizadas, delegando-se às unidades operacionais a maior

autonomia possível. Tal estrutura funcionou bem no início mas, com o crescimento da empresa, a Diretoria Executiva passou a ficar extremamente sobrecarregada. Em 1964 chegou-se ao segundo marco importante. Manteve-se a direção colegiada, mas a empresa foi departamentalizada, criando-se os Departamentos e os Serviços. Os Departamentos passaram a ser os órgãos responsáveis pelas áreas de monopólio: Exploração, Perfuração, Produção, Refino, Transporte e Comercialização externa. Os Serviços passaram a ser órgãos normativos e prestadores de serviços para os demais órgãos da empresa, atuando em áreas funcionais específicas, tais como Material, Finanças, Recursos humanos. Desde 1964 foram realizadas algumas modificações na organização, mas a concepção geral permanece a mesma de então.

Na atualidade, está em curso um estudo de reformulação organizacional visando atualizar sua estrutura a exigências oriundas, principalmente, de transformações no ambiente externo (tais como modificação nos valores éticos/morais/religiosos, aumento da competição e de incertezas, evolução do conhecimento de organizações). Essa reformulação pretende preservar as principais qualidades da organização, ao mesmo tempo que objetiva minimizar as distorções acumuladas ao longo de sua existência. No que se refere às qualidades da empresa evidencia-se a excelência técnica do seu corpo de funcionários, com alto conhecimento tecnológico e grande facilidade de disseminação do conhecimento técnico.

No tocante às disfunções percebidas ressaltam-se algumas questões estruturais e gerenciais. A gestão da empresa está muito concentrada na operação do monopólio, realizando pouco controle sobre o sistema Petrobrás como um todo. Há dificuldades de coordenação e integração entre atividades de certos segmentos; nota-se algumas indefinições de áreas de atuação gerencial e muita autonomia, o que leva a duplicação de serviços e pouca ênfase em custos. Além disso, a estrutura organizacional favorece a concentração de funções de chefia na sede. O ritmo de tal reformulação é muito influenciado pela turbulência nacional dos últimos 3 anos, acompanhada de grande descontinuidade administrativa, levando a Petrobrás a ter 6 diferentes presidentes no período. Isso tem contribuído para a morosidade no processo de mudanças.

Apesar dessa lentidão, alguns dos órgãos têm se adiantado e reformulado suas estruturas organizacionais, ressaltando-se a transferência de funções e pessoal para os órgãos operacionais.

## 4.2 A Informática na Petrobrás

As atividades de Informática na Petrobrás iniciaram-se em 1962, quando a empresa começou a processar sistemas através da utilização de horas blocadas nos "bureaux" de serviços da IBM e da PUC, no Rio de Janeiro.

Nessa época, a coordenação de tais atividades era do Serviço de Organização e Métodos (SEORG) que, além das atividades de Processamento de Dados, coordenava também as atividades das áreas de Organização e Métodos e de Pesquisa Operacional. A atividade de Informática expandiu-se, transformando-se, no ano de 1979, num Serviço desvinculado das funções de Organização e Métodos, o SEPROD (Serviço de Processamento de Dados). Mais recentemente, em 1990, outra mudança organizacional na Petrobrás levou à fusão desse Serviço com o de Telecomunicações, dando origem ao SERINF (Serviço de Recursos da Informação), responsável pelas duas atividades.

A IBM tem tido um papel marcante no processo de informatização da Petrobrás. Durante muito tempo, foi seu único fornecedor de computadores. Além disso, tem prestado uma gama diversificada de serviços, dentre os quais o treinamento de pessoal, o desenvolvimento de aplicações, e parceria numa série de iniciativas de adoção de inovações. No caso do treinamento, a maioria dos professores das primeiras turmas do CANAL (Curso de Analistas de Sistemas), o principal veículo formador de profissionais da área, era da IBM.

Uma característica marcante da evolução da Informática na Petrobrás é a grande autonomia e alto nível de descentralização, a despeito de grande esforço de coordenação e centralização de decisões por parte do órgão formalmente responsável pela atividade. Desde o início, alguns campos de aplicação ficaram sob controle direto de órgãos usuários (Aplicações de geologia/geofísica, pesquisa e desenvolvimento, engenharia etc).

Em termos de recursos computacionais, esses órgãos usavam os equipamentos centrais, horas blocadas em empresas externas e, a partir dos anos 70, equipamentos próprios. Delineou-se, de fato, uma divisão de responsabilidades, ficando a cargo do órgão formal de Informática, o desenvolvimento de aplicações "comerciais" e, a cargo de cada órgão interessado, o desenvolvimento de aplicações "científicas". Essa caracterização era ambígua e muitas aplicações desenvolvidas no então SEORG poderiam perfeitamente ser enquadradas como "científicas". Entretanto, essa divisão de responsabilidades representou uma solução de acomodação à cultura institucional

dominante, de autonomia, onde alguns órgãos não queriam manter vínculos de dependências.

Até cerca de 1980, o SEPROD conseguiu centralizar as decisões relativas a aquisição de recursos computacionais e contratação de recursos humanos. Até esse ano, todas as compras ligadas à Informática teriam que ser aprovadas por ele. Além disso, os recursos humanos (analistas e programadores) estavam concentrados nesse órgão. O advento da microinformática colaborou para acentuar a descentralização real da atividade. A partir de 1980, os diversos órgãos passaram a ter alguma autonomia na compra de equipamentos e puderam passar a ter quadros especializados em Informática, possibilitando corrigir a distorção de se ter profissionais de geologia, engenharia etc etc atuando como profissionais em Informática, sem o preparo adequado. O quadro de descentralização culminou em 1984, quando a empresa decidiu, formalmente, descentralizar a atividade. Os órgãos asumiram a responsabilidade de desenvolvimento das aplicações consideradas locais ou departamentais. O então SEPROD teve suas responsabilidades limitadas ao desenvolvimento das chamadas "aplicações corporativas", isto é, sistemas de informação de interesse de todos os órgãos da empresa. Juntamente com tal decisão, criaram-se comissões para coordenar o desenvolvimento de aplicações corporativas, técnicas e de automação industrial. Essas comissões eram formadas por representantes dos Serviços e Departamentos envolvidos com o tipo de aplicação. A atividade de Informática passou a ser coordenada, como um todo, pela COINF (Comissão de Coordenação da Informática), um órgão formado por representantes das diversas comissões.

Como se pode observar, tal estrutura era extremamente complexa, o que resultou, de fato, na sua desativação gradual. A situação atual é a de grande autonomia dos órgãos, em Informática. O SERINF é responsável pela rede de processamento de dados da empresa e pelo desenvolvimento de aplicações corporativas. Apesar desse órgão exercer pouca coordenação e ter baixa capacidade normativa em Informática, lidera certas atividades pela sua capacitação tecnológica acumulada e pela concentração de pessoal técnico (o que é ilustrado pelo fato de estarem aí lotados cerca de 50% dos analistas de sistemas de toda a empresa).

A rede de processamento de dados da empresa é extremamente complexa e é construída dentro da arquitetura LAN-WAN-LAN, onde as redes locais(LAN), criadas em torno de um ou vários processadores, rodam as aplicações e serviços locais e comunicam entre sí através das redes de longa distância (WAN). Desta forma, tem-se aplicações e serviços

que envolvem vários pontos geográficos e várias redes locais, tais como correio eletrônico, aplicações de consulta a dados distribuídos, acesso a serviços remotos (tais como pacotes especializados em determinados nós da rede), transmissão de arquivos etc.

A complexidade da rede pode ser expressa por várias dimensões. Em termos geográficos : a empresa conta com cerca de 35 centros de processamento espalhados por todo o país. Em termos de diversidade e quantidade de equipamentos de processamento tem-se cerca de 39 "mainframes" (26 IBM e 13 Digital), 60 Superminis, 331 Workstations, 8000 terminais de vídeo (terminais e micros emuladores) , 2000 terminais impressores endereçáveis. Em termos de recursos de telecomunicações usados tem-se cerca de 235 circuitos Transdata dedicados, 350 acessos por circuitos comutados (linha discada), 70 acessos à rede de pacotes (protocolo X.25), 16 circuitos de satélite (Datasat-plus).

O quadro de recursos humanos diretamente envolvidos nas atividades de Informática é de cerca de 1500 empregados, correspondendo a 3% do efetivo da Companhia. A lotação do SERINF corresponde a cerca de 35% desse total. Uma análise da distribuição dos cargos de Informática mostra uma concentração de Analistas no SERINF (45% do total) e uma maior descentralização de Programadores (20% do total no SERINF).

A organização da atividade de Informática na Petrobrás, como já foi dito, está fortemente descentralizada. O SERINF, órgão principal da atividade, é organizado como os grandes centros de Informática, sendo composto por divisões voltadas para planejamento da atividade, desenvolvimento de aplicações (Sistemas de Informação e aplicações de Pesquisa Operacional), suporte e operação de computadores e rede, apoio a usuários, gerência de recursos, assessorias de qualidade, documentação técnica, administração e recursos humanos. Além disso, há divisões regionais em São Paulo e Bahia, onde todas as funções são realizadas a nível local.

Nos demais órgãos da Companhia, a atividade é organizada de forma específica para cada órgão, havendo os mais variados arranjos, onde todas ou parte das funções descritas para o SERINF são realizadas. Em cada Serviço ou Departamento há pelo menos um órgão coordenador da atividade a nível departamental e normalmente nos grandes órgãos operacionais há um setor específico voltado para a Informática.

Considerando-se a função de desenvolvimento de aplicações, tem-se cerca de 50 grupos de desenvolvimento espalhados por toda a Petrobrás. No SERINF há 12 grupos de desenvolvimento voltados

principalmente para aplicações corporativas de interesse geral. Nos órgãos de Informática dos departamentos e em alguns órgãos operacionais, tais como as refinarias, há grupos de desenvolvimento voltados para aplicações corporativas a nível departamental ou local. Além disso, há vários setores de estudos e desenvolvimentos de métodos e técnicas para as atividades fim da empresa (exploração, produção, refino etc), onde o desenvolvimento de software para apoio ao uso dos métodos desenvolvidos acaba sendo a atividade primordial. Apesar desses grupos de desenvolvimento serem bastante diversificados, nos próximos itens serão apontados uma série de aspectos comuns aos mesmos, obtidos como um resultado da análise de dados do levantamento efetuado nesta pesquisa.

Visando mostrar a evolução da atividade de desenvolvimento de software na Petrobrás, relacionando-a a enfoques de Engenharia de Software, serão descritos, a seguir, alguns marcos importantes nessa evolução. Será considerada apenas a história do SERINF (embora sua experiência situe-se mais na área de Sistemas de Informação do que em aplicações científicas). Essa experiência é importante pois foi acumulada durante muito tempo. Merecem destaque os seguintes marcos: uso de padrões, filosofia de banco de dados, adoção de planejamento de sistemas, descentralização do desenvolvimento, contratação do desenvolvimento, adoção de AD-Cycle, criação de analistas de negócios.

- i) Uso de padrões: A Petrobrás foi uma das primeiras empresas brasileiras a fazer um esforço para disciplinar os processos de desenvolvimento de sistemas. Por volta de 1975 desenvolveu, com a orientação de uma consultoria externa, um grupo de padrões para todas as atividades de processamento de dados, principalmente o desenvolvimento. Tais padrões foram usados durante muitos anos, mas aos poucos foram sendo abandonados. Entretanto tal iniciativa não foi totalmente abandonada pois ainda hoje observa-se sua utilização, de forma esporádica. Uma das razões apontadas para o abandono dos padrões, inicialmente considerados obrigatórios, foi a criação da figura de "miniprojeto", projetos de desenvolvimento de curta duração, onde o uso dos padrões era opcional. A maioria das iniciativas de desenvolvimentos passou a ser classificada nessa categoria, como estratégia para fuga do uso de padrões. Os sistemas, categorizados como miniprojetos, entravam em manutenção após sua conclusão, para a continuação do desenvolvimento.
- ii) Filosofia de banco de dados: Na mesma época do desenvolvimento de padrões, adotou-se uma estratégia de implantação de um banco de dados integrado para a área corporativa da Companhia,

abrangendo, principalmente, os setores de suprimento de petróleo e derivados, pessoal, material, finanças, apoio à produção de petróleo e refino.

Embora tal tarefa tenha se mostrado inatingível na prática, a filosofia de banco de dados permeou, persistentemente, os trabalhos de desenvolvimento e hoje reflete-se em vários pontos, dentre os quais a existência de uma área de administração de dados e a contratação, em 1992, de uma consultoria externa para a definição de uma Arquitetura de Informações para a Petrobrás (fortemente baseada na filosofia de banco de dados).

iii) Adoção de planejamento de sistemas: a partir de 1976, iniciou-se um esforço de elaboração e atualização de Planos de Estrutura de Sistemas, para cada área funcional da empresa. Tais planos objetivavam identificar as necessidades de informação de cada área da Companhia, estruturadas por seus Sistemas de Informação. Mostravam as interrelações entre os dados e aplicações de uma área e, também, com as áreas onde existissem interfaces. Tais planos estabeleceriam uma base mais perene para o planejamento de aplicações, independentemente das modificações de estruturas organizacionais ou pessoas. Apesar do esforço realizado, o resultado do planejamento foi muito pouco utilizado como orientação para os trabalhos de desenvolvimento de sistemas. O esforço serviu, entretanto, para aumentar muito o conhecimento do pessoal de Informática sobre a empresa.

Esporadicamente a atividade de Planejamento é retomada, de forma simplificada em relação às primeiras tentativas. Às vezes ela compõe parte de Planos Diretores de Informática, realizados a cada três anos ou se liga a outros esforços, como no caso atual de Arquitetura de Informações, descrito no item anterior.

iv) Descentralização do desenvolvimento: A partir de 1980, com o reconhecimento da descentralização que estava ocorrendo de fato (em parte essa descentralização também vinha do fato de não se ter recursos, centralmente, para atender todas as demandas potenciais em relação a desenvolvimento de aplicações), o SEPROD passou a apoiar o desenvolvimento descentralizado através de várias medidas. A principal delas foi a criação de grupos de apoio para treinamento e orientação de usuários no desenvolvimento de pequenas aplicações. Inicialmente as ferramentas usadas eram geradores de relatórios a partir de dados dos bancos de dados existentes e, também, geradores de aplicação simples. Mais tarde isso se ampliou e passou-se a apoiar o desenvolvimento de aplicações em microcomputadores. Essas iniciativas culminaram, em 1984, com a formalização da

descentralização do desenvolvimento. Nessa ocasião negociou-se com os diversos usuários e muitos sistemas passaram para sua responsabilidade. Alguns dos recursos humanos também migraram para os usuários. A estrutura de apoio persiste até hoje.

- v) Contratação do desenvolvimento: Uma outra forma de viabilizar a descentralização do desenvolvimento, na falta de recursos internos, foi o incentivo para a contratação externa de serviços. A partir de 1985 o então SEPROD elaborou uma série de documentos para orientar a contratação de desenvolvimento externo e criou, também, uma estrutura de assessoria interna para apoio a essa atividade. Vários dos órgãos passaram a usar esta estratégia e hoje tem-se uma experiência razoável nessa atividade, podendo-se dizer que a Petrobrás tem contribuído, de forma efetiva para criação de um modelo nacional para a contratação externa de desenvolvimento.
- vi) Adoção do AD-Cycle: A consciência da necessidade de metodologias e padrões no desenvolvimento de sistemas permaneceu, ao longo dos anos, após a criação dos primeiros padrões, em 1975. A partir de 1980 foram realizadas duas outras iniciativas para implantação de metodologias de desenvolvimento estruturadas, com impactos limitados. Ambas se deram através de órgãos específicos para apoio ao desenvolvimento de aplicações. Esses órgãos seriam os responsáveis pela implantação das metodologias, através de projetos piloto. Na segunda tentativa usou-se uma consultoria externa. Diante dos fracassos, mas persistindo ainda no mesmo objetivo, fez-se uma parceria com a IBM, a partir de 1990, para implantação da filosofia AD-Cycle no desenvolvimento, que implica a adoção não só de metodologias estruturadas para o desenvolvimento, mas também metodologias de gerência de projetos e uso intensivo de ferramentas e estações de trabalho para apoio a tais metodologias. Esta iniciativa está em andamento e será comentada com mais detalhes adiante.
- vii) Criação de analistas de negócio: em 1991 resolveu-se criar um grupo de analistas de negócios. Essa iniciativa representou a evolução de outra idéia anterior, não colocada em prática, de criação de analistas de informação. Os analistas de informação seriam mais ligados à fase de análise dos sistemas e se aprofundariam no conhecimento dos negócios da empresa, para propor sistemas mais adequados. A figura do analista de negócios amplia essa proposta, no sentido de que esse elemento estaria voltado para a identificação de oportunidades de aplicação das tecnologias de informação nos negócios da companhia, visando



agregar maior valor aos mesmos. Não se restringiria, portanto, à fase de análise dos sistemas. Em 1992 a idéia começou a ser posta em prática, com a criação de um grupo composto por alguns analistas experientes. A forma de atuação desses analistas tem sido bastante discutida, muito treinamento foi realizado (leitura e cursos ministrados por consultores externos). No estágio atual do processo alguns analistas estão fazendo estágio nos usuários. Ainda não foi possível uma avaliação desta iniciativa.

#### 4.3 Iniciativas de adoção de inovação estudadas

Seguindo os critérios descritos na Metodologia de trabalho descrita no ANEXO I, foram selecionadas e estudadas 10 situações de adoção de inovações ligadas ao desenvolvimento de sistemas, cobrindo um conjunto significativo de áreas da Petrobrás. Por questões de sigilo, os setores e os projetos envolvidos serão identificados de forma fictícia, por números ou letras. Além disso cada caso recebeu, também, uma denominação curta que tenta realçar algum aspecto significativo do mesmo, para facilitar as referências na análise realizada.

A tabela 4.1, apresentada a seguir, resume os casos estudados, identificando o tipo de atividade do setor, o tipo de inovação e o tipo de aplicação envolvidos. Cada um desses casos é descrito adiante, de forma resumida.

Tabela 4.1 Iniciativas de adoção de inovações no Desenvolvimento de Sistemas

Setor	Atividade	Tipo de inovação	Tipo de aplic.
1	desenvolvimento de métodos p/ projetos industriais de refino e petroquímica.	métodos e ferramentas para programação.	técnica
2	apoio ao desenvolvimento de sistemas	metodologia de análise estruturada	corporativa
3	desenvolvimento de sistemas p/ o Serv. de Engenharia	metodologia de análise/projeto estruturados e ferramentas	corporativa
4	desenvolvimento de métodos p/ análises geofísicas	metodologia de análise/projeto estruturados e ferramentas	técnica
5	apoio a CAD/CAE p/ produção de petróleo	migração para desenvolvim. c/ uso de pacotes	técnica
6	desenvolvimento de aplicações p/ análises geológicas	prototipação	técnica
7	desenvolvimento de sistemas para a área de refino	metodologia de arquitetura de informações e ferramentas	corporativa
8	desenvolvimento de sistemas para a área de engenharia	metodologia de sistemas especialistas	técnica
9	fomento da qualidade no desenvolvimento de sistemas	ferramentas CASE	corporativa
10	desenvolvimento de sistemas para a área financeira	migração para desenvolvim. c/ uso de pacotes	corporativa

## 1) Adoção de ferramentas e técnicas de programação - Caso MOSAICO

O setor 1 é especializado no desenvolvimento, adaptação e adoção de métodos para projetos industriais na área de refino e petroquímica e, normalmente, desenvolve software para apoiar o uso desses métodos. Parte do software necessário é contratado externamente. A equipe é composta basicamente por engenheiros com formação complementar em informática. Existe uma grande preocupação com o domínio tecnológico na área de trabalho do setor e considera-se que o software tem um papel importante nisso.

O projeto Z é de grande porte, sendo um dos mais importantes já desenvolvidos pelo setor. No seu início, em 1989, houve a preocupação em se preparar para desenvolvê-lo de forma disciplinada. Nessa época, a equipe do projeto participou de um treinamento em técnicas de programação, sendo que a parte prática foi realizada através do MOSAICO (ferramenta CASE da IESA, empresa brasileira). Após o curso, resolveu-se adotar as técnicas aprendidas (programação estruturada, programação modular, máquinas de estado) e a ferramenta testada anteriormente (MOSAICO). Posteriormente adotou-se, também o PRO-JET (software semelhante ao MOSAICO, desenvolvido pela STAA Informática, empresa brasileira), alternativamente ao MOSAICO. A situação atual é que tanto as técnicas quanto as ferramentas encontram-se perfeitamente absorvidas pela equipe.

## 2) Desenvolvimento de metodologia de Análise estruturada - Caso MAIS

O setor 2 tinha como função o suporte ao desenvolvimento de sistemas. Foi extinto em 1990, por ocasião de uma reformulação institucional da empresa. Suas funções foram absorvidas pelo setor de qualidade na nova estrutura. Durante sua existência o setor era formado por 7 analistas de sistemas, todos com experiência de mais de 10 anos.

Um dos principais objetivos deste setor era o de melhorar o processo de desenvolvimento de sistemas, considerado, então, muito indisciplinado.

Tal objetivo redundou em uma decisão de se iniciar as modificações pela fase de análise, considerada a mais crítica. Pretendia-se implantar uma metodologia na linha de Análise Estruturada e desejava-se contar com o apoio de uma consultoria para tanto. Em 1985 foi feito um processo de seleção de consultorias, tendo sido escolhida a empresa SPL Informática. A proposta passou a ser o desenvolvimento de uma metodologia apropriada à Petrobrás (a metodologia passou a ser denominada MAIS), tomando como partida a metodologia SPL. Tal desenvolvimento se daria através do uso em alguns projetos piloto, assistidos pela consultoria e com participação do pessoal de setores de desenvolvimento dos projetos

envolvidos e do setor B. O processo envolveu amplo treinamento dos analistas, foram realizadas inúmeras palestras para a gerência do SERINF e dos usuários envolvidos. Quatro projetos piloto foram iniciados, sendo que 2 deles foram descontinuados ao longo da experiência e 2 concluídos com sucesso, em termos da fase de especificação desses sistemas. Posteriormente um desses 2 últimos foi descontinuado, tendo apenas um dos projetos chegado ao final e implantado.

Esse processo disparou inúmeras discussões internas com áreas correlatas, pois houve uma série de questionamentos da metodologia com relação à sua ligação com banco de dados e planejamento. Além disso, considerou-se o trabalho e, embora o desenvolvimento da metodologia MAIS tenha sido concluído, ela acabou sendo desativada. Embora não se tenha chegado ao resultado esperado, o processo gerou uma série de desdobramentos considerados aqui como positivos: conscientização de questões humanas e organizacionais no desenvolvimento de sistemas; criação de um curso, a nível de empresa, de Sistemas de Informação; geração de normas de desenvolvimento para contratação de sistemas, dentre outras.

### 3) Adoção de Análise e Projeto estruturados - Caso MDS

O setor 3 é responsável por todas as atividades de Informática de um Serviço, sendo que o desenvolvimento de sistemas é fortemente voltado para aplicações corporativas departamentais (Material, Finanças etc.).

No setor, a função de desenvolvimento é realizada por uma equipe formada por alguns analistas de sistemas formados no CANAL, alguns contratados com experiência e alguns engenheiros com formação complementar em Informática (na prática, atuando como analistas).

Quando o setor 3 foi criado (1989) foi realizado um PDI para o Serviço que, além de identificar os sistemas a serem desenvolvidos, sugeriu a adoção de métodos estruturados e ferramentas de apoio aos métodos. No período 89/90 um grupo de analistas realizou um processo de escolha de metodologias e ferramentas, tendo optado pela metodologia MDS (desenvolvida pela MTD HOUSE, empresa brasileira) e pela ferramenta Talisman (ferramenta CASE da Staa Informática, empresa brasileira). Uma série de projetos foram iniciados no ano de 1991, usando MDS e Talisman e, até o momento, nenhum deles ultrapassou a fase de Especificação.

Nem a metodologia nem a ferramenta estão ainda perfeitamente absorvidas pelas equipes. O gerente do setor considera que até agora os resultados alcançados foram modestos. Entretanto há grande disposição em se consolidar a implantação desse conjunto de inovações.

#### 4) Adoção de Análise e Projeto estruturados - Caso GEOFÍSICA

O setor 4 é responsável pelo estudo de métodos geofísicos, bem como pela sua implementação computacional.

O desenvolvimento de sistemas é realizado basicamente por analistas de sistemas e geofísicos, com formação complementar em Informática.

No passado, o desenvolvimento de aplicações não era feito de forma profissional mas em 1988, quando se iniciou o projeto Y, a chefia do setor quiz alterar esse estado de coisas e contratou o CTI (Centro de Tecnologia em Informática, subordinado à SEI) para consultoria em relação ao hardware e a COPPE (via COPPETEC), para consultoria em software. Ao longo do projeto, através da consultoria da COPPE, adotaram-se os métodos estruturados (Análise e Projeto Estruturados), escolheram-se ferramentas para apoio ao uso dos métodos: PC-CASE (do IBPI, empresa brasileira) e PRO-JET (da STAA Informática). O sistema já foi concluído e hoje está migrando para uma nova plataforma de hardware.

Os métodos foram bem assimilados pela equipe do projeto Y, mas estão sendo reformulados pela própria equipe, de maneira que possam ser usados mais flexivelmente nos demais trabalhos do setor.

#### 5) Migração para desenvolvimento através de pacotes - Caso CAD/CAE

O setor 5 é responsável pela implantação de ferramentas de automatização de Engenharia do Departamento de Produção de petróleo, bem como de ferramentas de automação e controle para operação de instalações de produção. Uma das atividades do setor tem sido a de desenvolvimento de aplicações para as áreas mencionadas. Em torno de 1990, por ocasião de uma reformulação do setor, um dos objetivos explicitados passou a ser a alteração da estratégia em relação a essa atividade: o setor deixaria de desenvolver aplicações, tornando-se fornecedor de recursos para que os próprios usuários finais assumissem o desenvolvimento.

O processo está em curso e os técnicos envolvidos nessas atividades são analistas de sistemas e engenheiros, com formação complementar em Informática.

Desde então, a principal mudança tecnológica ocorrida foi a de adoção de estações de trabalho da SISGRAPH (empresa americana), bem como o uso de pacotes CAD/CAE desse fornecedor. De acordo com a estratégia adotada, foram descontinuadas as aplicações que tinham sido desenvolvidas "in house", em plataforma VAX, e que demandavam grande trabalho de manutenção. A linha mestra de atuação do setor passou a ser a de dar apoio à nova filosofia de trabalho e ambiente configurados, o que envolve atividades tais como: treinamento e orientação no uso dos novos recursos, customização de certos

elementos para a cultura da Petrobrás (por exemplo, convenções usadas nas plantas) e desenvolvimento de rotinas especiais.

Embora o ritmo de adoção pelos usuários tenha sido considerado lento, tanto o gerente do setor quanto os técnicos envolvidos avaliam a estratégia escolhida como extremamente correta e oportuna e acreditam que o ritmo de difusão tende a se acelerar.

#### 6) Uso de prototipação - Caso TALENTO

O setor 6 é especializado no desenvolvimento de aplicações para a área de geologia da Petrobrás. Até 1980, o setor era composto essencialmente por geólogos mas, a partir de 1980, seu quadro de funcionários foi se alterando significativamente: paralelamente à incorporação de analistas de sistemas foi ocorrendo a saída de geólogos. No final de 1992, a lotação era de 2 geólogos, 20 analistas de sistemas e 13 programadores (atuando de fato como analistas).

A composição inicial do setor, formado por geólogos, que atribuíam grande importância estratégica à Informática, gerou um ambiente favorável à adoção de uma estratégia ofensiva no desenvolvimento de aplicações para a área de geologia. Tal fato, combinado a uma posição estável do gerente como pessoa chave, possibilitou a manutenção dessa postura até a atualidade.

Por outro lado, o setor se manteve refratário ao uso de métodos mais formais no desenvolvimento. No passado, foi realizada uma experiência de uso de Análise e Projeto Estruturados em um dos projetos, tendo se concluído que tais métodos não parecem ser aplicáveis ao contexto de suas aplicações. O argumento básico apresentado é que tais métodos inibiriam a rapidez no desenvolvimento e, conseqüentemente, teriam impactos negativos sobre a sua estratégia ofensiva.

Um aspecto considerado essencial à viabilização de tal estratégia foi o de se ter um quadro técnico altamente qualificado, fruto de seleção rigorosa de pessoal e de investimentos sistemáticos em treinamento de pessoal (inclusive mestrado, havendo 3 mestres no setor e 5 mestrandos). O método de desenvolvimento utilizado é uma espécie de prototipação, embora não formalizada, onde se privilegia a funcionalidade da interface homem/máquina da aplicação, a perfeita compreensão do problema e o tempo de desenvolvimento (poucos meses, na média).

Tal linha de atuação do setor tem gerado expressivos resultados, o que é ilustrado pelo desenvolvimento das seguintes facilidades: estação gráfica em microcomputadores para edição de mapas (Petromap), utilitários para edição e plotagem de mapas em grande porte (Geomap), facilidades gráficas diversas em estações IBM (em processo de migração para workstations). Tais resultados são reconhecidos como positivos não só internamente mas também por empresas externas

(usuárias de algumas dessas facilidades) e universidades.

#### 7) Adoção de Arquitetura de Informações - Caso ARQUITETURA

O setor 7 é responsável por todas as atividades de Informática de uma das refinarias da empresa. A função desenvolvimento de sistemas engloba tanto aplicações corporativas quanto com aplicações mais técnicas específicas de refinarias tais como Engenharia, Refino, Manutenção. O grupo de alocados técnicos para o desenvolvimento é composto por analistas de sistemas e programadores (alguns atuando, de fato, como analistas).

Quando a atividade de Automação Industrial se iniciou nessa refinaria, por volta de 1989, com a criação de um novo setor, sentiu-se a necessidade de que sua atuação fosse integrada às atividades do setor G. Considerou-se que um planejamento global pudesse permitir melhor a visualização dessa integração.

Com esse fim, foram contratadas duas empresas de consultoria que atuaram de forma coordenada, definindo, de forma clara, as atribuições de cada setor. A consultoria contratada para o planejamento dos Sistemas de Informação (de responsabilidade do setor 7), a SA (Systems Adviser), introduziu a metodologia de elaboração de Arquitetura de Informações, que permite a definição de bancos de dados e sistemas a serem desenvolvidos sendo, portanto, uma metodologia voltada para planejamento. Introduziu, também, a ferramenta Excelerator para apoio ao uso da técnica. Foi montada uma equipe com pessoal do setor G, usuários e Analistas do SERINF. O trabalho de desenvolvimento da Arquitetura de Informações foi concluído em 1990.

Embora a metodologia e a ferramenta tenham tido uma avaliação muito positiva, deixaram de ser utilizadas ao final da experiência. Uma das dificuldades apontadas para o não cumprimento do planejamento obtido e a não continuidade desse planejamento é a falta de recursos humanos para desenvolvimento, que tem levado o setor a realizar trabalhos pequenos, mas de resultados rápidos, embora não seguindo exatamente o que tinha sido planejado. Outra dificuldade apontada é a de que esse método só traria realmente grandes vantagens se utilizado para toda a empresa. Entretanto, o restante da empresa não aderiu ao método até o momento.

#### 8) Adoção de Sistemas Especialistas - Caso SE

O setor 8 é um setor regional responsável pelo desenvolvimento de aplicações corporativas e, eventualmente, de aplicações locais para órgãos da Petrobrás da região Sul. Além disso, apoia os órgãos regionais na utilização de aplicações corporativas desenvolvidas no

SERINF-Sede.

O setor é composto por 16 analistas de sistemas, 3 engenheiros que atuam, de fato, como analistas e 13 programadores, alguns atuando, de fato, como analistas.

Em 1988, atendendo a proposta de um engenheiro admitido no setor, foi criado um grupo informal (Grupo H1) composto por engenheiros, analistas e programadores, para atender prioritariamente a área de Engenharia e utilizar tecnologia de ponta em desenvolvimento, notadamente técnicas de inteligência artificial, pesquisa operacional e computação gráfica. O interesse na criação desse grupo era duplo: suprir um segmento pouco atendido pelo SERINF (área de Engenharia) e fomentar a adoção de novas tecnologias de desenvolvimento. Uma das tecnologias adotadas foi a de Sistemas Especialistas.

Para tanto, os membros do grupo H1 receberam uma série de treinamentos tanto internos (promovidos pelo órgão central de treinamento da empresa) quanto externos (promovidos pela IBM). Foram identificadas algumas oportunidades de desenvolvimento usando Sistemas Especialistas.

Uma delas era a avaliação de catalisadores de refinarias. Para aproveitar essa oportunidade, criou-se um projeto (projeto X), em parceria com a IBM. A realização do projeto implicou uma série de investimentos: capacitação do pessoal, aquisição de ferramentas específicas (ESE, NEXPERT, da IBM) e criação de um grupo interdisciplinar contendo pessoal do grupo H1, da IBM, usuários e engenheiros especialistas no assunto do projeto. Foram necessárias muitas discussões internas para validação da tecnologia em adoção. O projeto foi concluído, com resultados considerados positivos. Ele representou a primeira investida bem sucedida da Petrobrás no uso da tecnologia de Sistemas Especialistas. Já tinham ocorrido algumas outras tentativas de uso dessa tecnologia, sem resultados satisfatórios.

#### 9) Intensificação de capital no desenvolvimento - Caso AD-CYCLE

O setor 9 é responsável pela garantia de qualidade nos trabalhos do SERINF e dirige sua atuação para a área de desenvolvimento, pois é a área considerada mais problemática, em termos de qualidade. O foco da atuação é na melhoria do processo de desenvolvimento.

Em 1990, a alta gerência de desenvolvimento incumbiu este setor de estudar a viabilidade de adoção da filosofia AD-Cycle da IBM. Anteriormente já haviam sido feitos vários esforços internos para a adoção de metodologias e ferramentas de desenvolvimento, com impactos limitados. Entretanto, permanecia a visão da importância de tais investimentos e a parceria com a IBM representaria um novo enfoque para a questão.



Foi criado um Grupo de Trabalho misto (Petrobrás e IBM) que, com base em uma pesquisa interna, recomendou a adoção do AD-Cycle e elaborou um plano de implantação da filosofia AD-Cycle num período de 6 anos. O plano envolve várias atividades tais como: definição de hardware/software para apoio ao desenvolvimento e à gerência de projetos; definição de normas e padrões; adoção de métricas de qualidade/produzividade. A adoção dessa filosofia representa um alto investimento, pois se prevê a aquisição de inúmeras workstations para o pessoal de desenvolvimento e grande elenco de ferramentas de software. A arquitetura AD-Cycle é, de certa forma, aberta. Há várias parcerias já concluídas e em andamento para o desenvolvimento de ferramentas diversas. A parte central da proposta é o repositório, peça de software responsável pela integração das diversas ferramentas do ambiente.

O projeto está em andamento, várias etapas já foram cumpridas, algumas workstations já foram compradas, dois pacotes já foram contratados e estão em uso, mas ainda há problemas e questionamentos quanto à validade do projeto. O principal problema é a indefinição quanto ao repositório, visto que o repositório da IBM parece rumar para uma inviabilidade (supõe-se que demandará muito recurso de máquina e ainda não está pronto). Se isso realmente ocorrer, parte das vantagens da proposta estará perdida.

#### 10) Migração para desenvolvimento através de pacotes -Caso MILLENNIUM

O setor 10 é responsável pelo desenvolvimento de aplicações financeiras corporativas da Petrobrás. Sua equipe técnica é composta por 10 analistas de sistemas e 4 programadores. O principal usuário é o SEFIN (Serviço Financeiro da Petrobrás).

Em meados da década de 80, o SEFIN contratou uma consultoria (Andersen Consulting) para elaborar uma proposta de reformulação da sistemática financeira da empresa. Como decorrência desse trabalho houve a proposição de se desenvolver um novo Sistema de Informações financeiras (Sistema W). Tal proposta foi acompanhada da resolução de desenvolver o novo sistema usando pacotes existentes no mercado, sob o argumento de que essa alternativa seria mais rápida que o desenvolvimento interno, além de propiciar manutenção mais fácil. O pacote escolhido foi o módulo GLM, versão 3.0 do Millennium.

Além da instalação do pacote adotado, o trabalho de desenvolvimento envolveu a modificação de inúmeros sistemas corporativos ligados a finanças (por exemplo: Pagamento, Contas a Pagar, Faturamento) bem como a criação de um módulo para geração de relatórios, visto que as facilidades de consulta oferecidas pelo pacote não atendiam os requisitos da empresa. Para desenvolver o sistema W, foi criado um

projeto matricial sob a coordenação de um dos gerentes do SEFIN. O setor 10 participou como consultor técnico durante todo o projeto e será o responsável pela manutenção desse sistema. Houve imensos problemas no desenvolvimento do sistema W, sua implantação foi bastante tumultuada e hoje o sistema está em fase de estabilização. A percepção reinante no setor 10 é a de que, a despeito das possíveis vantagens de um pacote sobre o desenvolvimento interno, neste caso elas não ficaram evidenciadas. Para muitas pessoas do setor, essa alternativa não é apropriada para uso em sistemas corporativos na Petrobrás.

## Capítulo 5. RESULTADOS ENCONTRADOS

A análise dos casos estudados permitiu chegar a resultados em duas grandes vertentes.

A primeira delas refere-se a uma caracterização global da organização do desenvolvimento de sistemas na Petrobrás. A despeito da imensa dispersão tanto geográfica quanto funcional, foi possível identificar muitos pontos unificadores na função. Embora não tenha sido esse um dos objetivos iniciais da pesquisa, o trabalho de campo sobre iniciativas bastante diversificadas propiciou tal elaboração que, esperamos, possa contribuir para um melhor entendimento da função desenvolvimento de sistemas, historicamente bastante complexa.

A segunda vertente de resultados linha de análise visou identificar possíveis mecanismos facilitadores à difusão de Engenharia de Software na empresa e, também, barreiras. Tais aspectos são avaliados com base nos fatores identificados como relevantes ao processo de difusão, conforme discussão efetuada nos capítulos 2 e 3 desta pesquisa.

### 5.1 Aspectos da organização do desenvolvimento de sistemas na Petrobrás

Um dos resultados alcançados no estudo de iniciativas bastante diversificadas de adoção de novas tecnologias foi a identificação e caracterização de aspectos comuns na organização do processo de desenvolvimento de aplicações, que podem ser generalizados a Petrobrás como um todo.

Os aspectos a serem comentados são os seguintes: tipos de aplicações, pessoal, perfil profissional, evolução da lotação, hardware/software, treinamento, divisão de trabalho, formas de desenvolvimento, negociação dos trabalhos, envolvimento dos usuários, controle do trabalho, uso de métodos.

Cada um desses aspectos é comentado a seguir.

#### a) Tipos de aplicações

Participaram, direta ou indiretamente do estudo 12 setores de desenvolvimento de aplicações: 6 do SERINF, 2 do DEPEX (Departamento de Exploração), 1 do DEPRO (Departamento de Produção), 1 do DEPIN (Departamento Industrial), 1 do CENPES (Centro de Pesquisas) e 1 do SEGEN (Serviço de Engenharia).

No SERINF, a organização dos setores tem o caráter predominantemente funcional, estando os setores envolvidos no presente estudo, dedicados ao desenvolvimento de aplicações corporativas para toda a empresa. Desenvolve-se aí, também, aplicações departamentais, locais e até mesmo técnicas, desde que haja interesse definido por critérios políticos ou estratégicos, do ponto de vista da tecnologia. Dois dos outros setores estudados são responsáveis pela Informática como um todo no órgão, em particular, pelo desenvolvimento de aplicações departamentais/locais. Quatro dos setores pesquisados têm como objetivo básico o estudo de métodos, bem como de tecnologias em áreas tais como geologia, geofísica, produção e refino. Nesses setores, o desenvolvimento de software, embora vise o apoio a tais métodos, é a atividade principal.

Passaremos a categorizar as aplicações desenvolvidas nos dois primeiros grupos como corporativas e aquelas desenvolvidas no terceiro como técnicas. O único caso especial é o Caso SE, ocorrido no SERINF, mas que se enquadra melhor na categoria de aplicações técnicas. Desta forma, o conjunto de casos estudados fica subdividido em 2 grupos equilibrados: 5 na área corporativa e 5 na técnica.

#### b) Pessoal

A maioria do pessoal envolvido com o desenvolvimento de sistemas está na categoria de analistas de sistemas. Por outro lado, verificou-se uma participação significativa de engenheiros e outros tipos de técnicos com nível superior, na atividade. O número de programadores é relativamente baixo. A grande maioria dos técnicos de nível superior foi contratada através de concurso nacional e recebeu um curso de formação interno. No caso dos analistas de sistemas, o curso interno é denominado CANAL (Curso de Analistas de Sistemas). Quanto aos programadores, até o início da década de 80, eram recrutados através de concurso interno e também recebiam formação em um curso de programação interno. Desde meados da década de 80, passaram a ser contratados externamente.

O processo de encarecimento dos técnicos de nível superior está enquadrado dentro de uma estrutura básica que é dividida em 4 categorias, por sua vez subdivididas em níveis vinculados a salários. A categoria 4 só é atingida, de fato, por técnicos com mais de 20 anos de empresa, que ocupem cargo de chefia.

Só recentemente a carreira dos programadores foi dividida em 2

categorias, por sua vez também subdivididas em níveis vinculados a salários. Verificou-se que muitos dos programadores com grande experiência já estão nos últimos níveis, com poucas possibilidades de ascensão profissional. Essa falta de oportunidades tem gerado insatisfações, conforme melhor discutido no item Divisão de trabalho.

#### c) Perfil profissional

Parece haver uma clara distinção no perfil profissional considerado apropriado para o pessoal de desenvolvimento, de acordo com o tipo de aplicação.

No SERINF e nos demais órgãos envolvidos com aplicações corporativas, o perfil atual dos analistas de sistemas é considerado satisfatório, embora tenha sido apontada a existência de lacunas em certos aspectos técnicos, bem como em habilidades humanas e organizacionais. Isto está de acordo com a tendência, evidenciada por Friedman [Frie86], de busca de generalistas para o desenvolvimento, já que, atualmente, os analistas de sistemas contratados tem uma formação profissional de nível superior bastante diversificada.

Por outro lado, nos setores ligados a aplicações técnicas, verifica-se que não prevalece a opção por generalistas. Nota-se a busca de um novo profissional que combine qualificação técnica na área tecnológica específica da aplicação com conhecimentos em Informática. A estratégia predominante adotada nesses setores é a de recrutamento de profissionais qualificados na área tecnológica de interesse específico, complementado por formação adicional em Informática, através de treinamento interno. No caso de aplicações em geologia, entretanto, verificou-se também a tendência inversa, isto é, a busca de analistas de sistemas com o conseqüente treinamento em geologia.

#### d) Evolução da lotação

Nos últimos três anos, na maioria dos setores fora do SERINF, a lotação permaneceu estável. Isso foi considerado, de forma geral, um indicador de "status" dentro da empresa, em particular se considerarmos as inúmeras reformulações organizacionais ocorridas e as iniciativas de redução de pessoal ocorridas na empresa, tanto por decisão local quanto para seguir as políticas governamentais.

Quanto ao comportamento da lotação do pessoal de desenvolvimento no SERINF o quadro é diferente. O que se tem verificado são reduções,

fruto de vagas perdidas com aposentadorias bem como com alguma migração de pessoal para outras áreas do SERINF e para outros órgãos, sem a reposição correspondente.

De uma maneira geral, a mobilidade interna do pessoal de desenvolvimento é baixa. Isto pode ser explicado, de forma parcial, como uma estratégia pessoal dos envolvidos com desenvolvimento para a garantia de emprego. Parte dessa estratégia é viabilizada por questões institucionais, pois a mobilidade é baixa também em outras atividades na empresa. Outra parte deriva da autonomia técnica do pessoal de desenvolvimento, como assinala Tierney [Tier91]. Essa autonomia vem da situação de dependência da empresa para com grupos de técnicos responsáveis, anos a fio, por certos sistemas que desenvolveram e as quais dão manutenção. Como os sistemas não possuem boa documentação, sua manutenção é feita em bases muito pessoais, tornando-se difícil transferir a manutenção a outros grupos, o que limita o apoio das chefias às transferências de pessoal.

A baixa mobilidade e as restrições de admissão de pessoal na Petrobrás, desde meados dos anos 80, configura um quadro de pessoal envelhecido, o que tende a acarretar alguns problemas técnicos e gerenciais. O principal deles é bem caracterizado no SERINF, por ser pioneiro na implantação da Informática, mas pode assumir um caráter abrangente na empresa. A questão envolve a perspectiva de curto prazo de um grande contingente de pessoal se aposentar, face ao desafio de transferência da manutenção dos sistemas sob sua responsabilidade, que, conforme já comentado, é feita em bases muito pessoais.

Embora haja evidências de uma relativa estabilidade na lotação de pessoal, nota-se uma carência generalizada de mão de obra, refletida não só pelas opiniões dos entrevistados mas também pela utilização significativa de mão de obra temporária e de estagiários. A utilização desse tipo de mão de obra traz algumas questões à baila.

A mão de obra temporária, principalmente programadores, é utilizada de forma generalizada. Esses profissionais atuam a partir de contratos com empresas externas, celebrados para a prestação de serviços, mas que são, de fato, contratos para suprimento de mão de obra. Não está claro se essa é uma estratégia da empresa rumo à externalização ("outsourcing") do desenvolvimento, tendência presente no mercado mundial e no brasileiro, em particular, ou se é uma forma de contornar as dificuldades de contratação de pessoal, impostas pelos últimos governos. Nas entrevistas mencionou-se a desigualdade de formação técnica entre o pessoal contratado e o pessoal da empresa, sendo mais baixa a do primeiro grupo. Igualmente mais baixos

são os salários desse grupo, o que pode provocar insatisfações e tensões.

Quanto aos estagiários, observa-se a sua utilização como mão de obra efetiva nos setores, a despeito de sua formação ainda incompleta.

É bem provável que tais esquemas, aliados ao envelhecimento das equipes, funcione como uma barreira à adoção de inovações no desenvolvimento de software, no primeiro caso devido à baixa capacitação dos envolvidos e, no segundo, às resistências a mudanças. Entretanto a questão não foi sistematicamente verificada nos casos estudados, sendo uma área possível para estudos futuros mais aprofundados.

#### e) Hardware/Software

O hardware usado para desenvolvimento na Petrobrás é bastante diversificado. Em termos de mainframe, há duas grandes redes instaladas: IBM e Digital. Verifica-se o uso de microcomputadores tipo PC de gerações variadas, a maioria de forma "stand alone". Inicia-se também a adoção de Workstations sob plataforma UNIX.

Grande parte do desenvolvimento ocorre no ambiente IBM, como é o caso do SERINF, onde o desenvolvimento em microcomputadores é muito baixo e onde, apesar de haver uma estratégia para adoção de Workstations, não ficou evidenciada qualquer ação concreta nesse sentido. No DEPIN e no SEGEN, o desenvolvimento é em microcomputadores tipo PC e em mainframe Digital. Nos Departamentos o desenvolvimento é mixto (mainframe IBM, Digital e Workstations). No setor estudado do CENPES o desenvolvimento é em microcomputadores tipo PC.

Apesar de toda essa diversidade, a formação da maioria dos profissionais que atuam em Informática foi realizada com base no ambiente IBM. Foram apontadas, de forma quase generalizada, lacunas na qualificação dos profissionais que atuam no ambiente Digital, em Workstations e em microcomputadores. No caso do ambiente Digital, as lacunas são atribuídas, principalmente, à falta de oferta de cursos por parte do fornecedor do hardware. No caso do SERINF, foi detectada alguma resistência ao uso de microcomputadores pelo pessoal de desenvolvimento. Esta resistência pode estar associada à sensação de perda de "status" técnico, já que o conhecimento de microcomputadores é muito mais divulgado que o de mainframes, o que se reflete nos

menores salários pagos aos profissionais voltados para microcomputadores. Esse fato pode se constituir numa barreira à adoção de inovações e deveria ser melhor estudado.

Nos setores de desenvolvimento voltados para aplicações técnicas já se tem alguma clareza do cenário futuro, em termos de "downsizing", onde o processamento de dados será baseado em Workstations funcionando "stand-alone", em rede e/ou ligadas a mainframe, assumindo as Workstations o processamento pesado. Nos setores mais voltados para aplicações corporativas isso ainda não está sendo percebido, embora pareça ser uma tendência inexorável. Aqueles setores voltados para Engenharia já iniciaram um relativo esforço de capacitação do pessoal para esse novo quadro. Nos demais setores não se constatou um planejamento explícito de mudança, o que pode representar um problema no futuro.

No tocante a software, verificou-se uma grande diversidade na base instalada, com duplicidades de software para uma mesma função (Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados, editores de texto, linguagens de programação, ferramentas CASE). As tentativas de padronização têm tido impactos limitados. Só recentemente, por exemplo, o SERINF conseguiu privilegiar a linguagem COBOL como a linguagem básica para desenvolvimento de aplicações corporativas.

Muito provavelmente a complexidade e diversidade dos ambientes de hardware/software funcionam como barreiras à adoção de inovações, dentre outras razões, pelo esforço de treinamento requerido para acompanhar a evolução desses ambientes, diminuindo a disponibilidade do pessoal para outros tipos de treinamento. Entretanto isso não foi sistematicamente verificado no estudo.

#### f) Treinamento

Em consonância com a ênfase da empresa na sua capacitação tecnológica, a intensidade de treinamento oferecido ao pessoal de desenvolvimento é significativa. Em termos gerais, situa-se em mais de 10 dias úteis anuais, semelhante à média anual constatada por Friedman [Frie86] nos EUA e em alguns países europeus. A média constatada no SERINF, nos últimos 3 anos foi substancialmente maior, situando-se em cerca de 20 dias úteis anuais.

Há diferenças na política de acesso a treinamento entre programadores e analistas, em detrimento dos primeiros. A maioria dos treinamentos externos, certos cursos avançados internos e mestrados



não tem sido acessíveis aos programadores, o que está de acordo com as normas internas da empresa, que diferenciam o treinamento para funções de nível superior daquelas de nível médio. Entretanto essas diferenças, implementadas de forma bastante rígida no passado, estão sendo progressivamente flexibilizadas, até mesmo devido à pouca diferenciação, de fato, entre as funções, conforme será comentado no item Divisão de trabalho.

O treinamento é muito voltado para aspectos técnicos, tendo sido apontadas carências de treinamento nos aspectos humanos e organizacionais do trabalho.

Dentro desse quadro, têm sido organizados inúmeros cursos voltados para Engenharia de Software. Um dos mais destacados foi um curso a nível de especialização, conduzido pela COPPE, denominado CAVES - Curso Avançado de Engenharia de Software, realizado em 1989. Além disso, inúmeros cursos internos e externos de Análise Estruturada e Projeto estruturado foram realizados nos últimos anos.

Na literatura existente, a escassez de mão de obra e as dificuldades de treinamento de pessoal adequado são caracterizadas como uma barreira à difusão de ES [Revie85] [Quin89]. Por outro lado, neste estudo não ficou claro que a capacitação tecnológica observada esteja funcionando como um mecanismo indutor à difusão, já que, a despeito do tal capacitação, o ritmo de difusão dessas técnicas tem sido bastante lento. Isso indica, no mínimo, uma reavaliação da estratégia que tem sido adotada, visando o fomento de ES.

#### g) Divisão de trabalho

A divisão de trabalho observada enquadra-se na caracterização feita por Tierney [Tier91], de grande fluidez das ocupações do pessoal de desenvolvimento. Tal fluidez é ilustrada pela progressiva fusão das atividades de análise e programação, em paralelo à emergência do analista de negócios. A fusão entre análise e programação é observada, especialmente, nos trabalhos de menor porte. Fora do SERINF já não há distinções marcantes entre essas atividades. Entretanto, não se observou aplicações de grande porte sob a responsabilidade de programadores.

No SERINF verificaram-se dois tipos de situação. Há programadores que se dedicam exclusivamente à programação, mas há também programadores responsáveis pelo desenvolvimento de pequenas aplicações. Por outro lado, a grande maioria dos analistas realiza

trabalhos de programação.

Em meados da década passada estudou-se, no SERINF, a idéia de dividir os analistas em duas classes: analistas de informação e analistas projetistas. Os primeiros se concentrariam mais nas fases iniciais do trabalho de desenvolvimento, de definição de requisitos e especificação e, os demais, se encarregariam do projeto e da programação. Essa idéia não foi adiante, na época, mas contribuiu para a iniciativa de criação de analistas de negócio, ocorrida em 1992. Esse grupo de analistas de negócio está voltado para uma atuação mais sistemática na identificação de oportunidades de uso das tecnologias de Informática nas unidades de negócio da companhia. O grupo ainda está atuando em fase experimental, sendo ainda cedo para avaliar a iniciativa.

A divisão de trabalho de análise e programação observada corrobora, ao menos parcialmente, os resultados obtidos por Friedman [Frie86], que mostra a convergência progressiva entre análise e programação ocorrida nos anos 80, o que significou uma reversão da tendência à fragmentação do trabalho de desenvolvimento, iniciada nos anos 70.

No presente estudo, verifica-se a convivência de duas tendências aparentemente opostas: fusão e fragmentação das atividades de desenvolvimento. A evolução que se delineia parece esboçar uma nova onda de fragmentação, onde a programação funde-se com certos aspectos da análise, dando origem ao analista projetista. Em paralelo, outros aspectos da atividade de análise se expandem, com a emergência do analista de negócios. Tierney [Tier91] caracteriza essa última tendência como uma ampliação do espaço organizacional de atuação das categorias profissionais de Informática, em oposição ao que era previsto nos anos 70.

A baixa distinção entre as atividades de análise e programação tem gerado insatisfação nos programadores dado as dificuldade de ascensão, especialmente ao cargo de analista de sistemas. Até o início da década de 80 houve várias chances para tanto (concursos internos e externos e processos de reencarreamento). Já houve casos de programadores conseguirem reclassificação para analistas através de ações judiciais. Nesses casos, a resposta gerencial foi a de não admitir mais programadores, o que pode ser interpretado como um reconhecimento da função analista/programador.

A "fluidez" das ocupações de Informática caracterizada acima não tem sido acompanhada por uma evolução de cargos da companhia.

Evidencia-se, também, a progressiva perda de importância dada à carreira de programação, até mesmo como consequência das tendências à fusão e nova fragmentação discutidas anteriormente.

Outra questão importante é a alocação de pessoal para manutenção dos sistemas. Verifica-se que, na maioria dos setores, a estruturação é por equipes envolvendo analistas e programadores responsáveis por um grupo de aplicações. Geralmente esses grupos desenvolvem os sistemas e ficam responsáveis pela manutenção. Há arranjos variados, onde às vezes um indivíduo participa de mais de uma equipe. Já foram feitas tentativas de estruturação de equipes de outras formas, sem muito sucesso. Dentre as tentativas destacam-se a criação de "pool" de programadores, hoje descontinuada, e a separação entre equipes de desenvolvimento e manutenção, inclusive em setores diferentes, mas que não deu bons resultados, tendo-se retornado à situação anterior.

Essa estruturação, aliada a outros fatores, tem favorecido a baixa documentação dos sistemas e a realização das manutenções em bases muito pessoais. Isto tem algumas implicações já comentadas anteriormente, dentre as quais a dificuldade na mobilidade interna de pessoal e na transferência da manutenção para outras equipes, especialmente considerando-se as aposentadorias em perspectiva. Essa situação contribui para a autonomia do pessoal ligado às manutenções, pela dependência criada. Um dos aspectos positivos do trabalho de manutenção para as chefias é a possibilidade de se lidar com tarefas bem menores que as de desenvolvimento, o que permite um melhor controle do trabalho e estimativas de prazos mais precisas, facilitando a negociação com os usuários.

Os aspectos de autonomia, especialmente na manutenção, funcionam, sem dúvida, como uma barreira à adoção de inovações.

#### h) Formas de desenvolvimento

Com relação a formas de desenvolvimento adotadas na Petrobrás, predomina o desenvolvimento interno. A empresa utiliza, também, uma série de alternativas tais como: externalização do desenvolvimento, contratação de mão de obra temporária, uso de pacotes, desenvolvimento pelo usuário final. A motivação básica apresentada para a adoção dessas alternativas ao desenvolvimento interno é a escassez de pessoal, em detrimento de outras considerações gerenciais tais como qualidade ou custo.

Em meados da década de 80, quando se formalizou a descentralização

da Informática, pensou-se que a externalização do desenvolvimento pudesse apoiar fortemente essa diretriz. Entretanto a externalização ocorrida situa-se em níveis baixos, Em geral, a contratação externa do desenvolvimento tem sido parcial, em relação ao ciclo de vida do software. Observa-se uma tendência de realizar a fase de análise das aplicações internamente e contratar-se o projeto/programação. Verificaram-se alguns casos de contratação, também, da manutenção. As razões apresentadas para realizar a fase de análise internamente são a dificuldade de familiarização de pessoal externo com os negócios da Petrobrás, além da possibilidade de definição mais precisa do objeto da contratação, quando a análise é interna. No caso dos órgãos mais voltados para aplicações técnicas, um objetivo explicitado em todos os casos apresentados foi o de se ter o perfeito domínio do produto contratado.

A contratação de mão de obra temporária tem se dado de forma generalizada, conforme já comentado no item Evolução da lotação.

Quanto ao uso de pacotes, há uma série de questões oportunas à discussão. Na área corporativa há pouca experiência nessa forma de desenvolvimento e uma das poucas experiências, adotada como um dos estudos de caso, o Caso MILLENNIUM, não apresenta indicadores positivos para a alternativa. Na área técnica, a questão tem vários aspectos. Em algumas áreas fim da empresa foi declarado não haver pacotes disponíveis no mercado, como é o caso da área de refino. Nas outras áreas de Engenharia não se verificou uma única tendência. Com relação à área de CAD/CAM foram apresentados indicadores muito positivos no uso de pacotes. Nas áreas de geologia, sísmica e projetos industriais evidenciou-se uma resistência ao uso de pacotes sob o argumento básico de que tal uso, a longo prazo, venha a diminuir o domínio tecnológico da empresa nessas áreas, dentro de um processo de distanciamento das técnicas, que tais pacotes podem permitir.

O desenvolvimento pelo usuário final é uma estratégia adotada amplamente na empresa. Foi iniciada pelo SERINF e continuada pelos órgãos descentralizados responsáveis pela Informática. Há uma estrutura, em vários níveis, de apoio ao usuário final, que oferece treinamento e consultoria para os empregados desenvolvam suas próprias aplicações, usando ferramentas tais como planilhas, pacotes de bancos de dados para microcomputadores, editores de texto. Não estão claros, entretanto, os limites desta estratégia, dado que não se pode transformar cada empregado num especialista em Informática.

O uso das alternativas de externalização do desenvolvimento pode

ter impactos significativos e positivos em termos da diminuição de resistências à adoção de inovações de processo no desenvolvimento. Torna-se mais fácil exigir o uso de métodos, padrões e ferramentas externamente que internamente. Na verdade isso é quase que mandatório, dada a manutenção consequente. Tal fato vem efetivamente ocorrendo em muitos dos contratos mencionados.

#### i) Negociação com usuários

Há duas fontes básicas para os trabalhos de desenvolvimento: solicitações dos usuários e propostas geradas internamente nos setores. O setor F (Caso TALENTO) concentra sua atuação na identificação de oportunidades de aplicações e no desenvolvimento de pacotes oferecidos ao público alvo. Na maioria dos setores estudados, é estabelecido um "backlog" de demandas de aplicações para negociações periódicas de prioridades. Entretanto, alguns setores entrevistados não fazem isso, preferindo negociar imediatamente cada demanda surgida.

Em alguns setores estudados foram mencionadas iniciativas de planejamento das atividades de desenvolvimento para determinado período à frente (normalmente 3 anos). Entretanto, essa atividade não tem sido feita de forma sistemática.

A negociação de prazos e prioridades, em muitos setores, é feita de forma periódica, normalmente no início do ano. No caso de aplicações corporativas, o processo é fruto de reavaliações constantes, dada a grande incidência de demandas por aplicações e manutenções não previstas. A base mais usual de determinação de prazos de desenvolvimento é a experiência acumulada dos envolvidos. Algumas vezes, especialmente no caso das aplicações corporativas, os prazos são exigidos pelos usuários, para cumprirem determinações legais.

A negociação de prioridades, que normalmente se constitui num espaço para o estabelecimento e fortalecimento de alianças políticas e pessoais por parte dos gerentes, assume um caráter especial na empresa, já que os setores são centros de custo, não sendo cobrados aos usuários os custos de desenvolvimento. Embora alguns entrevistados tenham declarado que essa situação não é ideal, verifica-se uma acomodação generalizada à mesma. Diante de tal fato, este fator tende a ser uma barreira significativa à racionalidade do processo de previsão de prazos e estabelecimento de prioridades. Constitui, certamente uma barreira à difusão de Engenharia de Software.

## j) Envolvimento dos usuários

Nos casos estudados, a participação de usuários nos processos de desenvolvimento apresenta uma gama bastante diversificada de situações. Em um extremo, no setor 6 (Caso TALENTO), há desenvolvimento de pacotes (estratégia tipo "technology push"), com a participação do usuário só no final do processo, para validação, e nas melhorias. No outro extremo, no setor 10 (Caso MILLENNIUM), os usuários foram responsáveis pela gerência do projeto. Entretanto, a forma usual é aquela onde os usuários participam através de representantes, que checam a correção e o valor das especificações e projetos realizados pelos analistas de sistemas e depois participam dos testes do sistema desenvolvido.

De uma maneira geral, os entrevistados declararam estar satisfeitos com a participação dos usuários. Foi mencionado o estabelecimento de muitas relações pessoais. Entretanto, também foi declarado, de forma generalizada, a existência das dificuldades, classicamente caracterizadas, na comunicação usuários-analistas de sistemas. Por um lado, os analistas não entendem muito bem o que os usuários querem e, por outro, estes não sabem expressar corretamente suas necessidades.

Não se pode confirmar a satisfação dos usuários com sua participação no desenvolvimento, pois eles não foram entrevistados. Entretanto, em uma pesquisa realizada realizada pelo SERINF junto a seus usuários para verificar sua satisfação com os sistemas, a maior incidência de reclamações dos mesmos, em relação aos sistemas, foi relativa à interface homem/máquina desses sistemas.

As constatações acima mostram haver oportunidades para a adoção de métodos da Engenharia de Software, que visem melhorar os aspectos de comunicação com os usuários, tanto por parte dos analistas quanto dos sistemas.

Uma delas é na interface homem/máquina dos sistemas. As recentes técnicas de orientação a objeto podem ser exploradas para se construir interfaces mais adequadas, inclusive com uma melhor avaliação dos usuários sobre a funcionalidade do sistema, durante o desenvolvimento. Outra oportunidade para a melhoria da comunicação usuário-analista relaciona-se à fase de análise de um sistema. Toda as correntes de análise estruturada, bem como de técnicas de reuniões do tipo JAD (Joint Application Design) e, ainda, as recentes técnicas de trabalho cooperativo com usuários, podem ter impactos positivos, por permitir uma melhoria nessa comunicação.

## k) Controle do trabalho

A grande maioria dos gerentes entrevistados declarou que a principal forma de controle do trabalho de desenvolvimento é a supervisão direta. Em muitos setores são adotadas planilhas de alocação de horas trabalhadas mas, de fato, os dados resultantes raramente são utilizados como instrumento gerencial. De forma generalizada são emitidos relatórios mensais sobre o andamento dos trabalhos.

A estratégia de controle declarada aparenta estar na linha de Controle Direto (CD), segundo a classificação de Friedman [Frie86]. Entretanto, pode-se perceber que o controle é realizado com bases em critérios qualitativos pessoais e pouco científicos. Praticamente não se utilizam medidas de desempenho do processo, de qualidade dos sistemas ou de satisfação dos usuários. Essa estratégia convive, generalizadamente, com a de Autonomia Responsável (AR), especialmente na atividade de manutenções, onde se destaca a grande autonomia dos técnicos. Essa combinação de estratégias corrobora os resultados encontrados por Tierney [Tier91].

De forma generalizada, o clima organizacional é considerado bom e a gerência é considerada participativa, o que pode funcionar como um fator facilitador à adoção de inovações de Engenharia de Software. Por outro lado, as estratégias de controle mencionadas podem funcionar em sentido oposto, já que não parece haver incentivo para se realizar uma gerência em bases mais científicas, com a implantação de medidas de controle do processo.

## l) Uso de métodos

A despeito dos imensos esforços que vem sendo realizados para a implantação de métodos e ferramentas no desenvolvimento de sistemas, pode-se considerar que os resultados obtidos são pouco abrangentes. Poucos instrumentos estão institucionalizados e quando o estão, isso ocorre a nível departamental, como, por exemplo, a padronização do uso do FORTRAN no DEPEX. Há algumas iniciativas de adoção de inovações em andamento, mas elas têm uma aplicação pontual. Os esforços a nível global, tais como as normas elaboradas pela CONTEC (Comissão de Normas Técnicas) têm pouca repercussão, mesmo tendo tido participação de técnicos de toda a empresa na sua elaboração, revisão e votação. Muitos dos entrevistados declararam que as normas não se aplicam bem para sua situação.

A maioria dos gerentes dá ao seu pessoal a liberdade de utilização das técnicas que cada um conhece, mas isso, de fato, tem pouco efeito global. Técnicas voltadas para a gerência, como métricas do processo de desenvolvimento, são muito pouco utilizadas.

A situação da Petrobrás, no tocante à baixa difusão de Engenharia de Software, não se configura, entretanto, como uma questão particular da empresa. Moad [Moad90] mostrou que cerca de 80% das empresas americanas encontram-se no estágio inicial, em relação ao modelo de níveis de maturidade no desenvolvimento de software, proposto por Humphrey e descrito na seção 3.2.

É interessante contrastar a situação dessa empresa, em relação a duas hipóteses, não adotadas inicialmente neste trabalho, para o fato da Engenharia de Software aparecer de forma tão reduzida como estratégia gerencial de controle do processo de desenvolvimento de aplicações. A primeira é a de não haver evidências demonstráveis do valor dessas técnicas. Essa hipótese é elaborada no estudo efetuado por Revie [Revi85], que foi comentado na seção 3.3. A segunda hipótese é a de que a ES pode não ser relevante para a estrutura hierárquica existente. Ela tem por base os estudos de Fischer [Fisc90] sobre gerenciamento de "expertise" em geral. Sua argumentação é a de que a introdução de inovações numa empresa ocorre, também, para reforçar a estrutura hierárquica existente.

Relativamente à primeira hipótese, observou-se que nenhum dos gerentes e técnicos entrevistados mencionou qualquer avaliação objetiva da Engenharia de Software como base para sua decisão de adoção ou não de inovações no desenvolvimento. Muitos deles concordaram que a argumentação de aumento de produtividade dos fornecedores de métodos e ferramentas é extremamente vaga. As vantagens percebidas nas inovações adotadas situam-se muito mais em aspectos qualitativos do que de custos, conforme comentado na próxima seção. Se as evidências do valor econômico das técnicas de ES fossem significativas elas teriam, no mínimo, sido mencionadas. Em conclusão, apesar desta questão não ter sido estudada sistematicamente, ela mostra-se ser relevante.

Com relação à segunda hipótese, pode-se imaginar que a adoção de inovações apresenta aspectos favoráveis e desfavoráveis em relação à estrutura hierárquica vigente.

Vejamos alguns aspectos desfavoráveis. Quanto ao sistema de avaliação de resultados dos setores na Petrobrás, a Engenharia de Software seria pouco relevante pois as avaliações de desempenho dos



setores ainda não têm sido feitas com base em indicadores de produtividade ou qualidade, segundo muitos entrevistados. Entretanto, a preocupação nesse sentido é crescente em toda a empresa.

O fator custo, que seria um grande motivador para a adoção de inovações no desenvolvimento, não tem sido relevante no desenvolvimento de aplicações, pois os custos não são apropriados aos usuários.

Por outro lado, nota-se na área de desenvolvimento uma grande preocupação com prazos. Neste caso, inovações da ES que levem a um aumento de prazo de desenvolvimento, ainda que no início de seu uso, podem ser percebidas de forma negativa. Pelo menos em um dos casos estudados isso ficou claro (Caso MAIS), onde uma das razões pela descontinuação do uso do método foi a demora do projeto piloto. Com relação a prazos, pode não haver consciência do efeito da "curva de aprendizado", onde é normal a diminuição de produtividade na fase de introdução de uma inovação.

Os aspectos favoráveis podem estar vinculados à rede de alianças da gerência. A visibilidade das inovações foi considerada positiva em muitos dos casos estudados. Ela pode favorecer o estabelecimento ou fortalecimento de alianças com usuários, já que inovações são bem vistas dentro de uma organização que valoriza a tecnologia, como é o caso da Petrobrás.

O estabelecimento de alianças com fornecedores também deve funcionar nesse sentido, especialmente aqueles fornecedores destacados tais como IBM e Digital. No caso particular da IBM, Friedman [Frie86] constatou que os gerentes de CPD de instalações desse fabricante têm um poder relativo maior que os gerentes de instalações de outros fabricantes.

Essas questões são bastante complexas e pouco discutidas na literatura. A utilização de métricas de desenvolvimento para avaliação de desempenho, por exemplo, é ainda uma questão muito controversa pois pode levar a muitas distorções dessas medidas, dada a autonomia inerente ao trabalho intelectual. Certamente são questões para estudos mais aprofundados.

## 5.2 Fatores determinantes da difusão de ES na Petrobrás

O objetivo desta seção é apresentar e analisar as evidências obtidas no estudo de campo, em termos dos fatores influentes na difusão de Engenharia de Software, apresentados nos capítulos 2 e 3. Considero oportuno realizar algumas considerações iniciais.

Em primeiro lugar, é importante ressaltar, novamente, a natureza exploratória deste trabalho, o que influenciou na escolha da metodologia de investigação, cujo instrumento básico foi um questionário semiestruturado e aberto. Algumas das questões não consideradas inicialmente foram adicionadas ao longo do estudo, o que enriqueceu o levantamento mas não permitiu a coleta sistemática de todas elas. A natureza dos resultados obtidos é qualitativa e optou-se por não incluir um tratamento estatístico dos dados.

Em segundo lugar, é importante enfatizar a amplitude do tema difusão de inovações, bem como a escassez de estudos empíricos sistemáticos sobre o mesmo, a nível internacional e de Brasil. Esta tese restringiu-se à análise de fatores considerados relevantes para a difusão de novas tecnologias, que estivessem mais fortemente vinculados ao lado da demanda. O caráter exploratório da pesquisa influenciou na escolha inicial dos 20 fatores para análise. Isso se revelou ser um projeto ambicioso, dado que o tratamento dos dados coletados sobre tal variedade de questões mostrou-se complexo e muito laborioso. Além disso, o acréscimo de questões institucionais evidenciadas como relevantes ao tema vieram acentuar essas dificuldades.

Por último, deve-se salientar que outro aspecto de complexidade constatado foi o alto nível de interrelacionamento entre os fatores. Tal interdependência não pôde ser considerada de forma sistemática neste trabalho, pois acentuaria a complexidade da análise.

Em resumo, a situação em estudo configurou-se como bastante complexa em vários níveis combinados, tais como: sua natureza exploratória, um grande número e diversidade tanto de casos quanto de fatores estudados. Visando tornar mais objetiva a análise dos dados coletados, apesar de sua natureza qualitativa, foi dado um tratamento quantitativo ao levantamento, mesmo correndo o risco de introduzir alguma distorção na análise.

A seguir é mostrada uma análise global da relevância dos fatores em estudo. Na seção posterior são discutidos os cortes realizados por grau de difusão e tipo de aplicações. Por último, é feito um resumo dos diversos resultados encontrados.

### 5.2.1 Tabelas de relevância e convenções adotadas

Os resultados são apresentados de forma concisa nas tabelas 5.1 a 5.6, que pretendem mostrar a importância relativa dos fatores

estudados em cada caso.

Nessas tabelas, foram adotados dois eixos de classificações, relacionados ao modelo do processo de difusão, apresentado na descrição da metodologia (ANEXO I). Neste modelo, o processo de difusão está dividido em três etapas: decisão da adoção da inovação, processo de adoção da inovação e propagação da inovação.

No primeiro eixo, a classificação está relacionada à fase de propagação. Cada caso estudado foi classificado, em termos do grau de difusão, como A (= Alta difusão) e B (= Baixa difusão). O critério utilizado para fazer essa classificação foi a aceitação social da inovação, ao final do processo de adoção. Considerou-se que o grau de difusão foi alto quando ficou claro que a inovação seria utilizada em outras situações, no setor envolvido, e que esse grau foi baixo quando ficou caracterizado que a inovação não seria mais utilizada no setor envolvido, mesmo que tenha levado a desdobramentos positivos. Dois dos casos considerados referem-se a processos em andamento. Em ambos, entretanto, ficou clara a tendência à aceitação das inovações.

No segundo eixo, a classificação está relacionada às duas primeiras etapas da difusão: a decisão de adoção de uma inovação e o processo de adoção. Os fatores foram classificados em termos de sua relevância para essas etapas. As classificações usadas foram R (= Relevante) quando o fator foi decisivo para qualquer etapa; P (= Parcialmente relevante) quando contribuiu apenas de forma parcial para qualquer etapa. Quando o fator foi considerado irrelevante para ambas as etapas, a célula correspondente da tabela foi deixada em branco.

Na análise foi utilizada uma quantificação denominada Efeito Global (EG) de cada fator, obtida pela soma das relevâncias atribuídas ao mesmo, ponderando-se com os pesos 2 para o tipo R e 1 para o tipo P. Foram criadas 3 faixas de relevância para classificação do fator (baixa, média e alta), de acordo com o Efeito Global calculado: 0 a 6 pontos, baixa relevância; 7 a 13 pontos, média relevância; 14 a 20 pontos, alta relevância.

A análise da relevância dos fatores é apresentada em três etapas. Na primeira, os fatores são analisados em termos de seu efeito global, mostrado na tabela 5.1, e os resultados gerais são comparados aos da literatura. Nas duas etapas seguintes, são discutidos os cortes por grau de difusão e tipo de aplicações, apresentados, respectivamente, nas tabelas 5.2 e 5.3.

Tabela 5.1 - Relevância de fatores nos casos estudados

	CASOS ESTUDADOS										EG
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Grau de difusão	A	B	A	A	A	A	B	A	A	B	
RELEVÂNCIA											
FATOR											EG
Racionalização	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Categ.estrat.tecnolog.	P	P	-	R	P	R	-	R	R	-	11
Planejam. tecnológico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estilo de gerência	P	-	P	-	P	R	-	P	-	-	6
Rede de comunicações	R	-	P	R	-	-	-	P	-	-	6
Estr.org.p/surgim.inov	-	R	-	-	R	R	R	-	P	R	11
Estr.org.p/absorç.inov	-	P	P	P	P	-	P	R	P	-	8
Figuras humanas chave	P	P	-	P	R	R	R	R	R	R	15
Escolha de tecnologias	P	P	P	P	P	-	-	P	P	P	8
Orientação p/ mercado	P	-	-	P	R	R	R	P	-	R	11
Gerência de projetos	-	-	-	-	-	-	-	-	R	R	4
Capacitação técnica	R	R	R	R	P	R	R	R	R	P	18
Compatibilidade	-	R	-	-	P	-	P	-	R	R	8
Valor relativo	R	R	R	R	R	P	R	P	R	R	18
Recursos do fornecedor	P	P	-	P	R	-	R	-	R	R	11
Complementaridades	-	R	R	R	P	R	R	R	R	R	17
Amadurecimento	R	P	R	P	R	-	P	-	R	R	13
Experimentabilidade	R	-	R	-	R	-	R	-	R	P	11
Esforço de aprendizado	R	R	R	P	R	R	P	P	P	R	16
Custo	P	P	R	P	R	-	P	-	R	R	12

Obs: EG = Efeito Global

Codificação dos casos estudados:

- 1 = Adoção de ferramentas e técnicas de programação (MOSAICO)
- 2 = Desenvolvimento de metodologia de Análise Estruturada (MAIS)
- 3 = Adoção de Análise e Projeto Estruturados (MDS)
- 4 = Adoção de Análise e Projeto Estruturados (GEOFÍSICA)
- 5 = Migração para desenvolvimento através de pacotes (CAD/CAE)
- 6 = Uso de Prototipação (TALENTO)
- 7 = Adoção de Arquitetura de Informações (ARQUITETURA)
- 8 = Adoção de Sistemas Especialistas (SE)
- 9 = Intensificação de capital no desenvolvimento (AD-CYCLE)
- 10 = Migração p/ desenvolvimento através de pacotes (MILLENNIUM)

Tabela 5.2 - Relevância de fatores nos casos estudados  
Corte por grau de difusão

	CASOS ESTUDADOS											
	2	7	10		1	3	4	5	6	8	9	
<b>Grau de difusão</b>	B				A							
<b>RELEVÂNCIA</b>												
<b>FATOR</b>												
Racionalização	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	
Categ.estrat.tecnológ.	P	-	-		P	-	R	P	R	R	R	
Planejam. tecnológico	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	
<b>Estilo de gerência</b>	-	-	-		P	P	-	P	R	P	-	
Rede de comunicações	-	-	-		R	P	R	-	-	P	-	
Estr.org.p/surgim.inov	R	R	R		-	-	-	R	R	-	P	
Estr.org.p/absorç.inov	P	P	-		-	P	P	P	-	R	P	
Figuras humanas chave	P	R	R		P	-	P	R	R	R	R	
Escolha de tecnologias	P	-	P		P	P	P	P	-	P	P	
Orientação p/ mercado	-	R	R		P	-	P	R	R	P	-	
Gerência de projetos	-	-	R		-	-	-	-	-	-	R	
Capacitação técnica	R	R	P		R	R	R	P	R	R	R	
<b>Compatibilidade</b>	R	P	R		-	-	-	P	-	-	R	
Valor relativo	R	R	R		R	R	R	R	P	P	R	
Recursos do fornecedor	P	R	R		P	-	P	R	-	-	R	
Complementaridades	R	R	R		-	R	R	P	R	R	R	
Amadurecimento	P	P	R		R	R	P	R	-	-	R	
Experimentabilidade	-	R	P		R	R	-	R	-	-	R	
Esforço de aprendizado	R	P	R		R	R	P	R	R	P	P	
Custo	P	P	R		P	R	P	R	-	-	R	

Obs: Codificação dos casos estudados:

- 2 = Desenvolvimento de metodologia de Análise Estruturada (MAIS)
- 7 = Adoção de Arquitetura de Informações (ARQUITETURA)
- 10 = Migração p/ desenvolvimento através de pacotes (MILLENNIUM)
  
- 1 = Adoção de ferramentas e técnicas de programação (MOSAICO)
- 3 = Adoção de Análise e Projeto Estruturados (MDS)
- 4 = Adoção de Análise e Projeto Estruturados (GEOFÍSICA)
- 5 = Migração para desenvolvimento através de pacotes (CAD/CAE)
- 6 = Uso de Prototipação (TALENTO)
- 8 = Adoção de Sistemas Especialistas (SE)
- 9 = Intensificação de capital no desenvolvimento (AD-CYCLE)

Tabela 5.3 - Relevância de fatores nos casos estudados  
Corte por Tipo de aplicação

	CASO ESTUDADO										
	1	4	5	6	8		2	3	7	9	10
Grau de difusão	A	A	A	A	A		B	A	B	A	B
Tipo de Aplicação	TÉCNICA						CORPORATIVA				
RELEVÂNCIA											
FATOR											
Racionalização	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
Categ.estrat.tecnológ.	P	R	P	R	R		P	-	-	R	-
Planejam. tecnológico	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
Estilo de gerência	P	-	P	R	P		-	P	-	-	-
Rede de comunicações	R	R	-	-	P		-	P	-	-	-
Estr.org.p/surgim.inov	-	-	R	R	-		R	-	R	P	R
Estr.org.p/absorç.inov	-	P	P	-	R		P	P	P	P	-
Figuras humanas chave	P	P	R	R	R		P	-	R	R	R
Escolha de tecnologias	P	P	P	-	P		P	P	-	P	P
Orientação p/ mercado	P	P	R	R	P		-	-	R	-	R
Gerência de projetos	-	-	-	-	-		-	-	-	R	R
Capacitação técnica	R	R	P	R	R		R	R	R	R	P
Compatibilidade	-	-	P	-	-		R	-	P	R	R
Valor Relativo	R	R	R	P	P		R	R	R	R	R
Recursos do fornecedor	P	P	R	-	-		P	-	R	R	R
Complementaridades	-	R	P	R	R		R	R	R	R	R
Amadurecimento	R	P	R	-	-		P	R	P	R	R
Experimentabilidade	R	-	R	-	-		-	R	R	R	P
Esforço de aprendizado	R	P	R	R	P		R	R	P	P	R
Custo	P	P	R	-	-		P	R	P	R	R

Obs: Codificação dos casos estudados:

- 1 = Adoção de ferramentas e técnicas de programação (MOSAICO)
- 4 = Adoção de Análise e Projeto Estruturados (GEOFÍSICA)
- 5 = Migração para desenvolvimento através de pacotes (CAD/CAE)
- 6 = Uso de Prototipação (TALENTO)
- 8 = Adoção de Sistemas Especialistas (SE)

- 2 = Desenvolvimento de metodologia de Análise Estruturada (MAIS)
- 3 = Adoção de Análise e Projeto Estruturados (MDS)
- 7 = Adoção de Arquitetura de Informações (ARQUITETURA)
- 9 = Intensificação de capital no desenvolvimento (AD-CYCLE)
- 10 = Migração p/ desenvolvimento através de pacotes (MILLENNIUM)

### 5.2.2. Análise do efeito global dos fatores

A tabela 5.4 é derivada da tabela 5.1 e apresenta os fatores agrupados pelo Nível de relevância e ordenados de forma crescente pelo EG (Efeito Global). São apresentados, também, para cada fator:

NC = número de casos onde o fator teve relevância P ou R

NP = número de casos onde o fator teve relevância P

NR = número de casos onde o fator teve relevância R

%R = % de NR em relação a NC

Tabela 5.4 Classificação dos fatores, segundo o Nível de relevância

BAIXA RELEVÂNCIA (EG de 0 a 6)	EG	NC	NP	NR	%R
Racionalização	-	-	-	-	-
Planejamento tecnológico	-	-	-	-	-
Gerência de projetos	4	2	-	2	100
Estilo de gerência	6	5	4	1	20
Rede de comunicações	6	4	2	2	50
MÉDIA RELEVÂNCIA (EG de 7 a 13)					
Estrut. organiz. p/ absorção de inovações	8	7	6	1	14
Escolha de tecnologias	8	8	8	-	-
Compatibilidade	8	5	2	3	60
Categoria de estratégia tecnológica	11	7	3	4	57
Estrut. organiz. p/ surgimento de inovações	11	6	1	5	83
Orientação para o mercado	11	7	3	4	57
Recursos do fornecedor	11	7	3	4	57
Experimentabilidade	11	6	1	5	83
Custo	12	8	4	4	50
Amadurecimento	13	8	3	5	63
ALTA RELEVÂNCIA (EG de 14 a 20)					
Figuras humanas chave	15	9	3	6	67
Esforço de aprendizado	16	10	4	6	60
Complementaridades	17	9	1	8	89
Capacitação técnica	18	10	2	8	80
Valor relativo	18	10	2	8	80

Uma primeira constatação é a de que os fatores escolhidos para análise, à exceção dos 2 primeiros da tabela, apresentaram alguma relevância para a difusão. Em termos globais, verifica-se que 2 dos 3 fatores associados às questões estratégicas estão na faixa de baixa relevância; a grande maioria (7 entre 9) dos fatores relativos a questões organizacionais ligadas à adoção de inovações estão nas faixas de baixa ou média relevância; finalmente, todos os fatores ligados a percepções sobre as tecnologias estão nas faixas de média ou alta relevância.

Esse quadro sugere que as questões mais ligadas à tecnologia em si têm um peso mais decisivo na difusão. Entretanto, deve-se notar que essas questões, por serem mais imediatas e operacionais, são mais facilmente percebidas pelo pessoal ligado à implementação das tecnologias. As questões estratégicas e organizacionais são mais abrangentes e de mais difícil percepção.

Foram cinco os fatores considerados de alta relevância para a difusão, apresentados a seguir por ordem decrescente de relevância: Valor relativo, Capacitação técnica, Complementaridades, Esforço de aprendizado, Figuras humanas chave. Os dois primeiros fatores foram classificados com a mesma relevância.

O primeiro dos dois fatores de maior relevância, Valor relativo está relacionado à percepção sobre as vantagens da inovação. As principais vantagens enumeradas como importantes para a decisão de adoção de inovações ou para sua aceitação foram a maior qualidade de projeto, melhores sistemas para os usuários e, no caso de adoção de pacotes, menores prazos de desenvolvimento.

No que se refere à maior qualidade de projetos, considerou-se ter havido melhorias na documentação dos sistemas, geralmente associadas ao uso de ferramentas, melhorias na especificação, consideradas mais consistentes e completas e melhorias no projeto de programas. Este último aspecto foi evidenciado no Caso GEOFÍSICA, onde a modularização obtida permitiu a migração do sistema, sem grandes esforços, de uma plataforma em microcomputadores PC para Workstation sob UNIX.

Vantagens relacionadas a melhores sistemas para os usuários não foram percebidas de forma consistente. A argumentação geralmente utilizada foi a de que a maior qualidade de projeto implicaria melhores sistemas para os usuários.

Com relação à expectativa de redução de prazos com o desenvolvimento através do uso de pacotes, os dois casos estudados foram avaliados de formas opostas. Em um dos casos, Caso CAD/CAE, essa expectativa foi confirmada, enquanto que no outro, Caso MILLENNIUM, não. A percepção foi a de que, para este último, o desenvolvimento interno teria sido mais rápido.

Uma questão chave, ligada a este fator e já comentada em alguns itens anteriores, é a de que vantagens da ES associadas a redução de custos de desenvolvimento não foram percebidas pelos entrevistados.

O outro fator de maior relevância, a Capacitação técnica, parece assumir na Petrobrás um caráter diferente do que é indicado na literatura.

Os estudos comentados na seção 3.4 indicam que a Capacitação técnica



está sendo considerada como uma barreira à difusão de Engenharia de Software. Na Petrobrás isso não parece ocorrer, já havendo na empresa um bom nível de capacitação específica acumulada na área. Além disso, não foram mencionadas dificuldades no treinamento do pessoal adequado, por ocasião dos processos de adoção de inovações. Entretanto, se considerarmos o baixo nível de difusão, este fator não parece ser um forte indutor à mesma. A conclusão, portanto, é que a capacitação é um fator necessário mas não suficiente para a difusão de ES.

O terceiro fator de maior destaque, Complementaridades, esteve quase sempre ligado com a associação entre os diversos métodos adotados e as ferramentas de apoio. Nos Casos MOSAICO e MDS, a adoção de ferramentas fez parte da decisão inicial de adoção dos métodos. Nos casos MAIS, GEOFÍSICA e ARQUITETURA, a adoção complementar de ferramentas foi considerada crucial durante o processo de adoção dos métodos envolvidos. Nos 2 últimos, isso pôde ser feito e, no Caso MAIS, não, pois não foram encontradas ferramentas que se integrassem bem à metodologia. A percepção geral sobre ferramentas, entretanto, é que elas ainda são pouco integradas e não cobrem toda a gama de necessidades do pessoal de desenvolvimento. Entretanto, mesmo com essas limitações, a evidência obtida confirma o que se tem apregoadado na literatura no sentido de que o uso de métodos da ES deve ser apoiado em ferramentas.

O quarto fator de maior destaque, Esforço de aprendizado, confirmou os resultados da literatura, descritos na seção 2.4, que indicam que a percepção da necessidade de um grande esforço de aprendizado pode funcionar como uma barreira à difusão. Nos casos em que esse esforço foi considerado de pequena monta, os entrevistados mostraram-se muito satisfeitos, como, por exemplo, no Caso MOSAICO e no Caso MDS, no que se refere à ferramenta usada, TALISMAN, favorecendo a aceitação das inovações. Nos três casos de adoção de metodologia de análise estruturada, Casos MAIS, MDS e GEOFÍSICA, o esforço de aprendizado foi considerado grande. No primeiro caso, esse aspecto contribuiu para a rejeição da metodologia e, nos dois últimos, os entrevistados demonstraram a intenção de introduzir simplificações no método adotado. Não ficou caracterizada, em geral, a consciência em relação à "curva de aprendizado" comentada no capítulo 2, que indica uma possível diminuição de produtividade nas primeiras utilizações de uma tecnologia nova. Em vários casos foram citadas apreensões com os prazos dos projetos piloto, considerados longos. Este último aspecto pode funcionar como uma barreira significativa à difusão de inovações de ES e evidencia a necessidade de

conscientização sobre a "curva de aprendizado", especialmente por parte das gerências. A literatura comentada na seção 3.2 indica uma carência, a nível mundial, de gerentes de desenvolvimento qualificados, sem objetivar, entretanto, quais são as carências de qualificação. O conhecimento sobre a gerência de inovações tecnológicas fica aqui caracterizado como uma das lacunas específicas nessa capacitação.

O quinto fator em ordem de relevância, Figuras humanas chave, também confirmou os resultados da literatura, descritos na seção 2.4, de que a presença dessas figuras são um fator decisivo para o sucesso das inovações.

Nos casos estudados foram identificadas duas figuras. A primeira foi a do patrocinador. Este, em geral, ocupa posição hierárquica alta tal como a de superintendente de um serviço, departamento ou refinaria, fornecendo o apoio financeiro e político necessário ao processo de adoção das inovações. Em três dos casos estudados (Casos ARQUITETURA, AD-CYCLE e MILLENNIUM), o patrocinador teve papel destacado.

A segunda figura identificada foi a do "campeão do projeto". Essa figura é de alguém obstinado com o projeto, no caso, a adoção de inovações, e que dedica alto nível de energias à tarefa. Em dois dos casos essa figura foi identificada como um técnico do setor envolvido (Casos CAD/CAE e SE). Em um terceiro caso, essa figura confundia-se com o próprio chefe do setor, entusiasta com inovações (Caso TALENTO).

Os três fatores considerados menos relevantes para a difusão foram os seguintes: Racionalização, Planejamento tecnológico e Gerência de projetos. Eles são descritos, a seguir, por ordem crescente de relevância.

A ausência de qualquer relevância para o fator Racionalização, vem a ser um dos resultados mais significativos desta pesquisa. Evidencia-se que a busca de racionalização, aqui associada estritamente a minimização de custos não funciona, na Petrobrás, como um fator motivador para a adoção das inovações ligadas a Engenharia de Software.

Isso parece indicar que, embora haja na empresa políticas gerais no sentido de racionalização de custos, essas políticas ainda não se refletem nos níveis de decisão inferiores da gerência.

Já que considerações sobre custos não seriam relevantes para decisões sobre adoção de inovações, em termos da literatura sobre escolha de tecnologias, da seção 2.4, o gerente ligado às decisões sobre inovações no desenvolvimento não teria o comportamento de "homem econômico". Por outro lado, o fator Escolha de tecnologias também

apareceu como irrelevante para a difusão. Esse fator pretendia verificar se o comportamento dos decisores sobre inovações era do tipo "homem engenheiro", que privilegiaria aspectos estéticos, de segurança ou conforto na escolha de tecnologias. Tal comportamento não foi observado. A estratégia dos gerentes, na adoção de inovações, parece estar ligadas a aspectos de qualidade, de atendimento aos usuários e a questões ligadas à estrutura hierárquica. Parece, portanto, haver outro tipo de comportamento não identificado na literatura, o do "homem político".

A baixa relevância para o fator Planejamento tecnológico parece indicar que o planejamento tecnológico na Petrobrás, que é realizado pelo CENPES (Centro de Pesquisas), com a participação de outros departamentos e serviços, não dá destaque especial à Informática. Um dos entrevistados (Caso MOSAICO) opinou que os recursos para inovações estão desigualmente distribuídos na empresa. A área de produção de petróleo é bem aquinhoadada e prioritária, em detrimento de outras, como, por exemplo, a de refino. Os projetos de desenvolvimento de software não têm recebido tratamento prioritário. A nível de direção, não parece haver consciência da importância estratégica do software como tecnologia para a Petrobrás. Este fator parece, portanto, constituir uma barreira à difusão de ES.

O terceiro fator de mais baixa relevância, a Gerência de projetos, foi observado apenas em dois casos estudados, no Caso AD-CYCLE e no Caso MILLENNIUM. Nestes, ele foi considerado como altamente relevante. Por coincidência estes casos são justamente aqueles onde a adoção de inovações está associada a altos investimentos e grande número de pessoal envolvido. O porte dos demais 8 casos é bem menor. Uma hipótese que pode ser estabelecida é a de que este fator só é relevante para a difusão no caso de projetos de grande porte.

Uma última observação geral, a partir da tabela 5.1, é a de que alguns fatores, embora situados nos níveis de baixa ou média relevância, tenderam a ser classificados nos extremos. Esses fatores foram: Gerência de Projetos, Estrutura para o surgimento de inovações e Experimentabilidade. Isso pode indicar que eles têm importância em situações específicas.

### 5.2.3 Análise da relevância de fatores relativamente ao corte por grau de difusão

Com relação ao corte por grau de difusão, uma primeira observação é a alta taxa de adoções de inovação bem sucedidas, pois os insucessos

são algo rotineiro na esfera de inovações. Sete das 10 iniciativas foram classificadas como A (Alta difusão) e apenas três, como B (Baixa difusão). Isso parece confirmar a receptividade a inovações da Petrobrás. Se, por um lado, o número de iniciativas de adoção de inovações, na área de Engenharia de Software ainda é baixo, por outro, quando ocorrem, a implementação parece ser satisfatória.

Outra observação importante é a de que todos os casos de baixa difusão ocorreram na área de aplicações corporativas. As análises a seguir baseiam-se, fortemente, nesse fato.

Para a análise dos fatores que distinguem os dois grupos do corte por grau de difusão foi elaborada a tabela 5.5, mostrada a seguir, que classifica os fatores por nível de relevância, para cada grupo do corte. O critério para a classificação foi o mesmo utilizado na tabela 5.4.

Tabela 5.5 Classificação de fatores por Nível de relevância e grau de difusão

Grau de difusão B (Baixa)	Grau de difusão A (Alta)
BAIXA RELEVÂNCIA (EG de 0 a 2)	BAIXA RELEVÂNCIA (EG de 0 a 4)
Racionalização	Racionalização
Planejamento tecnológico	Planejamento tecnológico
Estilo de gerência	Gerência de projetos
Rede de comunicações	Compatibilidade
Categoria de estrat. tecnológica	MÉDIA RELEVÂNCIA (EG de 5 a 9)
Estrut.org.p/absorç.de inovações	Estr.org.p/surgim.de inovações
Escolha de tecnologias	Estilo de gerência
Gerência de projetos	Rede de comunicações
MÉDIA RELEVÂNCIA (EG de 3 a 4)	Estr.org.p/absorç.de inovações
Experimentabilidade	Orientação para o mercado
Orientação para o mercado	Escolha de tecnologias
Amadurecimento	Recursos do fornecedor
Custo	Experimentabilidade
ALTA RELEVÂNCIA (EG de 5 a 6)	Custo
Figuras humanas chave	Amadurecimento
Capacitação técnica	ALTA RELEVÂNCIA (EG de 10 a 14)
Compatibilidade	Categoria de estrat. tecnológica
Recursos do fornecedor	Figuras humanas chave
Esforço de aprendizado	Complementaridades
Estrut.org.p/surgim.de inovações	Esforço de aprendizado
Valor relativo	Valor relativo
Complementaridades	Capacitação técnica

Uma análise global da distribuição dos fatores nos diversos níveis de relevância mostra que, no caso dos fatores ligados a grau de difusão baixo, houve uma concentração nos níveis extremos, isto é, nos níveis de baixa e alta relevância. Isso pode ser uma decorrência do baixo número de casos classificados nesse grupo, apenas três.

Dois dos fatores distinguem fortemente os grupos do corte por grau de difusão: Compatibilidade e Categoria de estratégia tecnológica, visto que assumem relevâncias opostas para cada um dos grupos. Compatibilidade, por exemplo, assume alta relevância para os casos de baixa difusão e baixa relevância para os de alta. Categoria de estratégia tecnológica tem o comportamento oposto. Isso parece indicar que o primeiro fator atua de forma negativa para a difusão e o segundo, de forma positiva.

Dois outros fatores assumem relevância especial para o grupo de baixa difusão: Estrutura organizacional para o surgimento de inovações e Recursos do fornecedor. Três fatores adicionais parecem contribuir, ainda que de forma secundária, para a distinção entre os dois grupos: Estilo de gerência, Rede de comunicações e Estrutura organizacional para a absorção de inovações. Esses três fatores distinguem os grupos na faixa de baixa relevância.

O destaque obtido pelo fator Compatibilidade parece estar ligado ao fato de que os casos de baixa difusão referem-se a aplicações corporativas, onde o contexto do desenvolvimento é mais complexo do que no caso de aplicações técnicas. Isso pode exigir a adequação da inovação a um grande número de requisitos do meio ambiente, ou vice-versa, o que pode dificultar sua aceitação.

Dois casos ilustram este raciocínio. No Caso MAIS, por exemplo, foi necessário um grande esforço para a compatibilização da metodologia em desenvolvimento com as práticas nas áreas de banco de dados, planejamento e gerência de projetos, o que dificultou todo o processo. No Caso MILLENNIUM foi necessária a manutenção em um grande número de sistemas em produção, para que fossem adaptados aos conceitos do pacote. Foi necessário, ainda, abandonar o módulo de relatórios do pacote e se desenvolver um internamente, visto que o tipo de relatórios gerados era muito diferente dos que os usuários da área financeira estavam acostumados a receber.

Por outro lado, o destaque para o fator Categoria de estratégia tecnológica parece se ligar ao fato complementar em relação ao fator anterior. A grande maioria dos casos de alta difusão é ligada a aplicações técnicas, numa proporção de 5 para 7.

Verificou-se que nesses setores a tecnologia é um componente extremamente valorizado, inclusive no que concerne ao software. Em

três dos cinco casos estudados, a saber, Caso MOSAICO, Caso GEOFÍSICA, Caso TALENTO, a percepção era a de que o software é um instrumento de incorporação do conhecimento tecnológico sobre métodos industriais. Conseqüentemente, o domínio do processo de desenvolvimento de software é crucial para a Petrobrás. Nessa linha de raciocínio, a valorização da tecnologia de processo de desenvolvimento de software funcionaria como um motivador muito forte para a adoção de inovações e permearia todo o processo de adoção, contribuindo decisivamente para a difusão.

A alta relevância assumida pelo fator Organização para o surgimento de inovações nos casos de baixa difusão é de difícil interpretação. Foi atribuída a classificação de R (Relevante) a esse fator, para os 3 casos analisados, mas as situações reais foram bastante diferenciadas. No Caso MAIS, a relevância derivou do fato da decisão para a adoção da inovação ter-se dado, antes de tudo, pela posição organizacional do setor envolvido, um setor de apoio ao desenvolvimento. No Caso ARQUITETURA, porque a decisão de adoção ocorreu no contexto da definição de atribuições entre o setor envolvido e um novo setor em criação na refinaria. No caso MILLENNIUM, porque a decisão de adoção da inovação foi do próprio usuário, que inclusive passou a ser o gerente do projeto de adoção do pacote envolvido.

Um aspecto comum nesses casos foi o de que a decisão de adoção da inovação ocorreu externamente ao grupo que a utilizaria, podendo esse fato ter levado à rejeição da mesma. Esta questão teria que ser melhor estudada.

De forma semelhante à anterior, a relevância assumida pelo fator Recursos do Fornecedor, para os casos de baixa difusão, também é de difícil interpretação, uma vez que as situações que levaram a essa relevância foram diversificadas.

No Caso MAIS, a falta de ferramentas para apoio ao uso da metodologia em desenvolvimento dificultou sua adoção. No Caso ARQUITETURA, percebeu-se a insuficiência do fornecedor no fornecimento de recursos humanos capacitados à transferência de tecnologia. Já no Caso MILLENNIUM, a relevância derivou do requisito explícito de se adotar um pacote de um fornecedor de renome internacional.

Confirma-se, assim, de forma parcial, a constatação da literatura, apresentada na seção 2.3, de que a percepção sobre as limitações de recursos do fornecedor pode funcionar como uma barreira à difusão de inovações. Foi verificado, entretanto, que a disponibilidade de recursos não funcionou como um indutor à difusão.

Os fatores Estilo de gerência, Rede de comunicações e Estrutura organizacional para a absorção de inovações estão avaliados, de forma global, nos níveis de média ou baixa relevância. Isso parece indicar que alguns aspectos organizacionais não estão sendo suficientemente desenvolvidos para alavancar as inovações.

Com relação a Rede de comunicações internas, foram mencionadas, em várias entrevistas a baixa troca de informações e experiências internas sobre o desenvolvimento de aplicações, como por exemplo, nas entrevistas do Caso MOSAICO e do Caso ARQUITETURA. Em dois casos, Caso MOSAICO e Caso GEOFÍSICA, as comunicações internas foram decisivas para a decisão de adoção das inovações, o que ilustra a importância que o fator pode vir a ter. Estilo de gerência e Estrutura Organizacional para a absorção de inovações foram classificados como muito relevantes apenas em um caso cada, Caso TALENTO e Caso SE, respectivamente.

#### 5.2.4 Análise da relevância de fatores relativamente ao corte por tipo de aplicação

Para a análise dos fatores que distinguem os dois grupos do corte por tipo de aplicação, foi elaborada a tabela 5.6, mostrada a seguir, que classifica os fatores por nível de relevância, para cada grupo do corte. O critério para a classificação foi o mesmo utilizado na tabela 5.4.

Tabela 5.6 Classificação dos fatores por Nível de relevância e tipo de aplicação

Aplicações técnicas	Aplicações corporativas
BAIXA RELEVÂNCIA (EG de 0 a 3)	BAIXA RELEVÂNCIA (EG de 0 a 3)
Racionalização Planejamento tecnológico Gerência de projetos Compatibilidade	Racionalização Planejamento tecnológico Estilo de gerência Rede de comunicações
MÉDIA RELEVÂNCIA (EG de 4 a 7)	Categoria de estrat. tecnológica
Estrut.org.p/surgim.de inovações Estrut.org.p/absorç.de inovações Escolha de tecnologias Recursos do fornecedor Experimentabilidade Custo Estilo de gerência Rede de comunicações Amadurecimento Orientação para o mercado Complementaridades	MÉDIA RELEVÂNCIA (EG de 4 a 7) Estrut. org.p/absorç.de inovações Escolha de tecnologias Orientação para o mercado Gerência de projetos Estrut. org.p/surgim.de inovações Figuras humanas chave Compatibilidade Recursos do fornecedor Experimentabilidade
ALTA RELEVÂNCIA (EG de 8 a 10)	ALTA RELEVÂNCIA (EG de 8 a 10)
Categoria de estrat. tecnológica Figuras humanas chave Valor relativo Esforço de aprendizado Capacitação técnica	Amadurecimento Esforço de aprendizado Custo Capacitação técnica Valor relativo Complementaridades

O fator que distingue fortemente os grupos do corte por tipo de aplicação é Categoria de estratégia tecnológica, visto que assume relevâncias opostas para cada um dos grupos, sendo de alto nível de relevância para as aplicações técnicas e de baixo nível de relevância para as aplicações corporativas.

Três outros fatores assumem relevância especial para as aplicações corporativas: Amadurecimento, Custo e Complementaridades.

Adicionalmente, os grupos se distinguem na faixa de baixa relevância pelos fatores: Estilo de gerência, Rede de Comunicações e Compatibilidade.

A análise do fator Categoria de estratégia tecnológica já foi feita nos comentários anteriores sobre o corte por grau de difusão. A distinção entre os dois grupos parece estar na valorização dada à



tecnologia e à visão do software como um componente estratégico para a Petrobrás, pelo pessoal ligado a aplicações técnicas.

O destaque do fator Amadurecimento para as aplicações corporativas deriva de duas situações opostas observadas.

No Caso AD-CYCLE, verificou-se que uma das motivações para sua adoção foi a oportunidade de se marcar uma posição de pioneirismo, visto ser a inovação algo muito recente no mercado. A adoção de uma inovação imatura representava um risco calculado.

Nos demais casos ligados a aplicações corporativas, ficou evidenciada a busca de tecnologias maduras. Em três dos casos ligados a aplicações técnicas, Caso MOSAICO, Caso GEOFÍSICA e Caso CAD/CAE, ficou também evidenciada a busca de tecnologias maduras. O entrevistado ligado ao caso MOSAICO destacou-se na ênfase com relação a esse aspecto. Para ele, um dos empecilhos para a adoção de ES é o fato de que algumas técnicas ainda requererem algum desenvolvimento depois de adotadas. Na sua visão, o ideal seria adotar tecnologias completamente maduras.

A partir dessas observações, podemos concluir que o que este fator expressa, de fato, é uma forte tendência na Petrobrás de se adotarem tecnologias maduras, no sentido de já serem estáveis, sem necessidade de desenvolvimentos adicionais.

O destaque do fator Custo para as aplicações corporativas, parece estar associado, na verdade, a um único aspecto de custos: o padrão de investimentos no processo de desenvolvimento de aplicações.

É possível que na área corporativa esteja se iniciando a aceitação da tendência mundial de intensificação de capital nesses processos, tanto que nos Casos AD-CYCLE e MILLENNIUM, o investimento envolvido é alto. Apesar dos valores envolvidos não terem sido levantados, foi declarado que situam-se na casa de alguns milhões de dólares. No caso AD-CYCLE houve resistências internas iniciais a esse aspecto da iniciativa. Entretanto, essas resistências parecem estar sendo superadas, dentre outras razões, pela postura decidida da gerência superior. Entretanto, nos demais casos ligados a aplicações corporativas, o baixo investimento contribuiu significativamente para a decisão de sua adoção. Isso também ocorreu nos casos MOSAICO e GEOFÍSICA, ligados a aplicações técnicas. No Caso CAD/CAE, as restrições à compra de Workstations têm funcionado como um fator inibidor da propagação das inovações.

Diante dessas considerações, o padrão de investimentos no processo de desenvolvimento de aplicações, na Petrobrás, parece ser o de baixo nível de investimentos. A intensificação do capital no processo pode ser identificada como uma barreira à adoção de inovações. Por outro lado, obteve-se evidências de que barreiras desse tipo podem ser

superadas.

O destaque do fator Complementaridades para os casos ligados a aplicações corporativas parece relacionar-se ao fato de que, de certa forma, as inovações adotadas na área técnica eram mais simples e mais maduras. Isso ocorreu, por exemplo, no Caso MOSAICO, onde a adoção de ferramentas de programação pôde ser feita de forma isolada de outras tecnologias. Os demais aspectos sobre este fator em nada diferem do que já foi comentado na seção 5.2.2.

A baixa relevância que o fator Compatibilidade assume para as aplicações técnicas já foi explicado na análise do corte por grau de difusão e parece referir-se à maior simplicidade do contexto de desenvolvimento desse tipo de aplicações, em relação às corporativas. Já a análise do destaque, em termos de baixa relevância que os fatores Estilo de gerência e Rede de comunicações assumem para as aplicações corporativas também não diferem daquela feita para os mesmos fatores, em relação ao corte por grau de difusão.

### 5.3 Resumo da análise da relevância de fatores

A seguir é feito um resumo das principais constatações feitas na seção 5.2, sobre a relevância dos fatores, escolhidos como objeto de estudo nesta pesquisa, para a difusão de ES na Petrobrás.

- a) Dezoito dos fatores escolhidos para foco desta pesquisa mostraram ter alguma relevância para a difusão. Apenas Racionalização e Planejamento tecnológico não mostraram qualquer relevância.
- b) Cinco fatores foram classificados, de forma global, no nível de alta relevância para a difusão: Figuras humanas chave, Esforço de aprendizado, Complementaridades, Capacitação técnica e Valor relativo. Cinco outros, no nível de baixa relevância para a difusão: Racionalização, Planejamento tecnológico, Gerência de projetos, Estilo de gerência e Rede de comunicações.
- c) Considerando-se, entretanto, os dois cortes realizados, 3 fatores permanecem presentes no nível de alta relevância, em todas as classificações: Esforço de aprendizado, Capacitação técnica e Valor relativo.

Relativamente ao fator Esforço de aprendizado, ficou caracterizado um certo imediatismo na adoção de inovações na empresa, refletido pela preferência da adoção de aplicações maduras e que tragam resultados rápidos.

No que toca ao fator Capacitação técnica, evidenciou-se que o mesmo parece funcionar como algo necessário, mas não suficiente à indução da adoção de inovações de ES.

Já o fator Valor relativo parece indicar que as melhorias na qualidade de projeto e em prazos é que pesam na decisão de adoção de inovações, em detrimento de aspectos de custo.

- d) Por outro lado, dois fatores permanecem presentes no nível de baixa relevância, para todas as classificações: Racionalização e Planejamento tecnológico.

Considerando-se o fator Racionalização, evidenciou-se que a racionalização de custos não funciona como um motivador para adoção de ES, ao contrário do que seria de se esperar.

Já a interpretação para a baixa relevância do fator Planejamento tecnológico é a de não haver consciência, a nível de direção da empresa, da importância do software como uma tecnologia estratégica para a mesma.

- e) O corte efetuado por grau de difusão evidenciou que a difusão de ES é mais difícil na área corporativa. Além disso, dois fatores diferenciam fortemente os casos de baixo grau de difusão daqueles de alto grau de difusão: Compatibilidade e Categoria de estratégia tecnológica.

Com relação ao fator Compatibilidade, evidenciou-se que quanto maior a adequação exigida da inovação a fatores do meio ambiente, ou vice versa, menores as chances de sua aceitação, ao final do processo de adoção.

Por outro lado, o fator Categoria de estratégia tecnológica indica que, quanto maior a consciência da importância do software como uma tecnologia e da necessidade do domínio de seu processo de desenvolvimento, maiores as chances de aceitação da inovação adotada, no caso da Petrobrás.

- f) O corte efetuado por tipo de aplicações indicou um fator altamente diferenciador das aplicações técnicas para as corporativas: Categoria de estratégia tecnológica. Entretanto, este corte não trouxe novas informações significativas, já que ele tem uma alta redundância com o corte anterior, uma vez que os casos de baixo grau de difusão eram todos da área corporativa e a maioria dos de alto grau de difusão, da área técnica.

- g) Dois dos fatores foram classificados no nível de média relevância, em todas as classificações realizadas: Orientação para o mercado e Experimentabilidade. O primeiro deles, Orientação para o mercado, foi mais fortemente pontuado nos casos ligados a aplicações

técnicas e o segundo, Experimentabilidade, para os casos ligados a aplicações corporativas. Entretanto, nenhuma situação de destaque foi observada para os mesmos.

- h) Dois dos fatores não levaram a resultados conclusivos. Teriam que ser melhor estudados, pois podem ter relevância para a difusão em casos específicos: Gerência de projetos e Estrutura organizacional para o surgimento de inovações. Para o primeiro deles, Gerência de projetos, a forma dessa gerência poderia ter papel relevante na difusão, a depender do porte da inovação. No caso da Estrutura organizacional para o surgimento de inovações, a decisão de adoção externa ao grupo que utilizará a inovação poderia favorecer sua rejeição.

## Capítulo 6. CONCLUSÕES

Este trabalho se propôs a analisar os fatores relevantes à difusão de Engenharia de Software, através do estudo de iniciativas de adoção de inovações no desenvolvimento de software, em uma grande empresa usuária de informática.

No estudo realizado, constatou-se a relevância, em especial, de 5 dos 20 fatores inicialmente selecionados para análise: Figuras humanas chave, Esforço de aprendizado, Complementaridades, Capacitação técnica e Valor relativo.

De maneira geral, obteve-se a confirmação de resultados indicados na literatura sobre difusão. Entretanto, foram evidenciadas algumas questões específicas, que complementam e enriquecem esses resultados. Essas questões são comentadas a seguir.

Com relação ao fator Esforço de aprendizado, evidenciou-se uma lacuna na qualificação dos gerentes de desenvolvimento, passível de generalização para outras empresas. Trata-se da falta de consciência sobre a "curva de aprendizado", que indica uma possível diminuição da produtividade, na fase de introdução de uma inovação em uma empresa. Configura-se como oportuna a complementação da qualificação de gerentes de desenvolvimento em aspectos de gerência da inovação tecnológica.

O fator Capacitação técnica também apresentou aspectos complementares aos indicados na literatura. Alguns estudos empíricos têm mostrado que a dificuldade na capacitação técnica em ES é uma barreira à difusão.

O estudo evidenciou que já há uma boa qualificação específica na Petrobrás e grande facilidade de treinamento. Entretanto, a facilidade na capacitação não se constitui em um indutor à difusão de ES.

Pode-se concluir, portanto, que a Capacitação técnica é um fator necessário mas não suficiente à difusão.

O fator Valor relativo indicou que as principais motivações para a adoção das inovações na empresa estudada são o aumento da qualidade de projetos e a diminuição de prazos de desenvolvimento.

A ausência de considerações sobre redução de custos nas decisões sobre inovações evidenciou que questões institucionais, comentadas adiante, podem se constituir em barreiras significativas à adoção de ES.

Outra constatação importante desta pesquisa, também passível de generalização, foi a de que a difusão de ES é mais difícil na área de desenvolvimento de aplicações corporativas do que na de desenvolvimento de aplicações técnicas.

O principal fator ligado a essa dificuldade é a Compatibilidade. Verificou-se que quanto maiores as exigências de adequação da inovação a requisitos do meio ambiente, ou vice versa, menores as chances de se obter a aceitação da inovação, ao final do processo de adoção. No contexto de aplicações corporativas essas exigências geralmente são grandes, dadas a necessidade de integração entre aplicações e a importância de se considerarem aspectos organizacionais no desenvolvimento desse tipo de aplicações.

Pôde-se chegar à constatação da existência de mecanismos positivos para a difusão de ES, na empresa, geralmente ligados aos fatores estudados. Dentre esses mecanismos, destacam-se:

a) a consciência sobre a importância do software como um elemento estratégico para a empresa.

O destaque do fator Categoria de estratégia tecnológica para os casos de alta difusão, parece indicar que essa consciência contribui, de forma positiva, para a aceitação das inovações introduzidas.

Entretanto, isso ocorre muito mais fortemente na área de aplicações técnicas do que na de aplicações corporativas.

b) a existência de aspectos organizacionais de receptividade a inovações, expressas pelos fatores Figuras humanas chave, Orientação para o mercado e Estrutura organizacional para a absorção de inovações. Esses fatores contribuíram para a alta taxa de implementações bem sucedidas nas inovações adotadas.

c) existência de um potencial de melhoria em muitos aspectos organizacionais que, embora existentes, não parecem estar sendo suficientemente desenvolvidos para alavancar inovações. Os fatores Estilo de gerência e Rede de comunicações estão neste caso. O estilo de gerência predominante é participativo. Entretanto, os técnicos podem ser chamados a participarem mais ativamente da introdução de inovações. Por outro lado, observou-se que a troca interna de informações e experiências sobre desenvolvimento é baixa. Nos casos em que essa troca ocorreu, ela foi positiva. Um incremento nas comunicações internas poderia ser muito benéfico para a propagação de muitas experiências positivas existentes.

Por outro lado, constatou-se que barreiras significativas à difusão de ES parecem estar vinculadas a aspectos institucionais, fato não realçado na literatura. O principal desses aspectos, expresso através do fator Racionalização, é que a minimização de custos não funciona como motivação para a adoção de inovações ligadas a ES, na empresa. A principal causa disso parece ser o fato de os setores de desenvolvimento serem centros de custo, não se cobrando aos usuários os serviços de desenvolvimento.

Outra barreira institucional à difusão de ES parece estar ligada à baixa consciência, a nível da alta direção da empresa, sobre a importância estratégica do software para a empresa. Isso tende a limitar o apoio às iniciativas de inovação.

Ao longo do estudo realizado, outros fatores não considerados inicialmente mostraram-se relevantes para a difusão. Eles não foram sistematicamente observados e se constituem em novas questões a serem tratadas em futuros estudos.

Um fator que pode ter impactos positivos na adoção de inovações no processo de desenvolvimento é o uso das alternativas de externalização desse desenvolvimento. Teve-se alguma evidência de que as resistências à adoção tendem a ser menores nesse contexto.

Por outro lado, outros aspectos parecem estar relacionados a barreiras à difusão.

A divisão de trabalho no desenvolvimento interno configurou um quadro em que o desenvolvimento e manutenção de sistemas ficam alocados a um mesmo grupo de técnicos durante muitos anos. Isso reforça a autonomia natural existente nas ocupações de alta especialização. A manutenção é feita em bases muito pessoais e há pouca motivação, da parte dos técnicos, para introdução de inovações que venham modificar essa situação.

Outro aspecto que pode estar associado a barreiras são as restrições institucionais à contratação de pessoal, que têm levado a esquemas de contratação de mão de obra temporária e uso de estagiários, passando os setores a trabalhar com pessoal de qualificação abaixo da ideal. Observou-se, ainda, que o ambiente hardware/software na empresa é bastante complexo e exige um esforço continuado de treinamento. Isso pode restringir o apoio às inovações em ES.

Duas questões finais, também não relacionadas aos fatores inicialmente escolhidos para estudo, parecem ter relevância para a difusão, especialmente na fase de decisão de adoção de inovações. São questões interessantes para outras pesquisas.

A primeira delas é a falta de evidência demonstrável do valor das inovações ligadas a ES. Este fator foi considerado relevante nos

estudos comentados na seção 3.3. Ele não foi considerado inicialmente nesta pesquisa por ser mais fortemente vinculado ao lado da oferta de inovações. Entretanto, não se pode associar a baixa difusão observada apenas aos fatores institucionais e talvez tenha que se recorrer a explicações em outras áreas. Certamente se houvesse um esforço, por parte dos fornecedores de métodos e ferramentas de desenvolvimento, para a demonstração do valor econômico das inovações, isso teria impactos positivos na sua adoção.

A segunda diz respeito ao relacionamento entre inovação e estrutura hierárquica. Esse relacionamento parece ser complexo, podendo a inovação contribuir de forma positiva ou negativa para como determinado grupo é visto no restante da empresa. A percepção desse tipo de questão pode estar sendo responsável pela adoção ou rejeição de inovações de ES. A visibilidade do grupo perante a organização, ocasionada pela adoção de uma inovação, pode contribuir para o fortalecimento de alianças internas e ser, portanto, percebida de forma positiva. Por outro lado, inovações que exponham o desempenho do grupo, como no caso de métricas de desenvolvimento, podem estar sendo consideradas de forma negativa. Quanto a associação entre inovações e prazos de atendimento aos usuários, evidenciou-se que a expectativa de diminuição de prazos foi um elemento importante na decisão de adoção de algumas inovações.

O estudo sobre a difusão de Engenharia de Software realizado nesta tese mostrou que a questão é ampla, mesmo com a limitação adotada de se estudarem apenas fatores mais ligados à demanda de inovações. O desafio de compreender esse processo continua colocado. Espero que as constatações feitas aqui, embora voltadas para apenas uma empresa, possam contribuir para a continuação desse debate.

Ao encerrar este trabalho, espero, também, que algumas das constatações realizadas possam de alguma forma subsidiar a Petrobrás na revisão permanente de suas práticas de desenvolvimento de aplicações e de adoção de inovações de ES. Essa empresa foi um campo de estudo valioso, dada a riqueza de situações existente e da enorme transparência observada, a despeito de todas as questões contraditórias, normais em um ambiente tão complexo.



## BIBLIOGRAFIA

- [ACAR86] SOFTWARE A vital key to UK competitiveness Report from ACARD (Advisory Council for Applied Research and Development) - London - Her Majesty's Stationery Office (1986)
- [Albr79] Albrecht, A.J. "Measuring application development productivity" in Proc. Joint SHARE/GUIDE/IBM Application Development Symp. (Oct 1979) pp 34-43
- [Amsa88] Amsalem, M. "Technology choice for textiles and paper manufacture" in Stobaugh, R & Wells Jr, L. T. ed. Technology crossing borders Boston Mass., Harvard Business School Press (1988) cap. 6 - pp 109-128
- [Bada80] Badawy, Michael K. "Managing Human Resources" in Research-Technology Management (Sep-Oct 1980) pp 19-35
- [Bake72] Baker, F.T. "Chief programmer team: management of production programming" in IBM Systems Journal, V.1 (1972)
- [Boeh81] Boehm, B. Software Engineering Economics Prentice-Hall (1981)
- [Bowk89] Bowker, G. "L'essor de la recherche industrielle" in Serres, M. (dir) Éléments d'histoire des sciences Paris, Bordas (1989)
- [Brad91] Brady, Tim; Quintas, Paul; "Computer software: the IT constraint" in Freeman, C; Sharp, M; Walker, W; eds. Technology and the future of Europe: Global competition and the environment in the 1990s SPRU (1991)
- [Broo75] Brooks Jr, Frederic P. The mythical man month Addison-Wesley Pub. Co (1975)
- [Broo87] Brooks Jr, Frederic P. "No silver bullet - Essence and accidents of Software Engineering" in Computer (Apr 1987) pp 10-19
- [Cain89] Cainarca, G.; Colombo, M. G.; Mariotti, S. "An evolutionary pattern of innovation diffusion. The case of flexible automation" in Research Policy 18(1989) pp 59-86
- [Carl89] Carlyle, Ralph Emmet "Careers in crisis" in Datamation (Aug 1989) pp 32-36
- [Carv88] Carvalho, Luiz C. de Sá Análise de sistemas: O outro lado da Informática Ed. LTC, Rio de Janeiro (1988)
- [Carv89] Carvalho, L.C.S; Freire, A.C. "Restrições e desdobramentos na Implantação de uma Metodologia Estruturada de Análise de Sistemas : um Estudo de Caso" in Anais do XIII Encontro da ANPAD - Vol. 2 - BH - (1989)
- [Carv90] Carvalho, L.C.S; Freire, A.C "Implantando uma nova metodologia: um longo caminho" in Anais do XXIII Congresso Nacional de Informática da SUCESU - RJ - (1990)
- [Chas77] Chase, R.B.; Aquiliano, N.J. Production and operations management Homewood, R.D. Irwen (1977)

- [CSTB89] Scaling Up: A Research Agenda for Software Engineering CSTB (Computer Science and Technology Board) - National Academy Press - Washington, D.C. - (1989)
- [Dalb89] Dalbem, M.C.; Christensen, C.; Rocha, A.; "Fatores que influenciam o sucesso e o fracasso de novos produtos" in Christensen, C. & Rocha, A. Marketing de tecnologia Rio de Janeiro, Atlas (1989)
- [Dani86] Danino, R. "Novas tecnologias: um dilema dos países latinoamericanos" in Projeto Prospectivas tecnológicas para a América Latina Unicamp (1986) mimeo
- [Davi86] Davidson, William H. "Trazendo a tecnologia de informação para a prática habitual da gerência" Univ. of Southern California (1986)
- [Denn73] Dennis, J. "Modularity" in F.L. Bauer (ed.) Advanced course in Software Engineering Spring-Verlag, New York (1973)
- [Dijk68] Dijkstra, E. "Go to considered harmful" in CACM, V.11,3 (1968) pp 147-148
- [Dijk69] Dijkstra, E. "Structured programming" in Buxton, J. & Randell, B. eds. Software Engineering Techniques, report on a conference sponsored by the NATO Science Committee, Rome (1969)
- [Dosi82] Dosi, G. "Technological paradigm and technological trajectories" in Research Policy 11 (1982)
- [Dosi85] Dosi, G. "Technological diffusion: the theory and some methodological suggestions for the study of the Brazilian case" INPES/CNRH (abril 1985) mimeo
- [Enos62] Enos, J. "Invention and innovation in the petroleum refining industry" in The rate and direction of inventive activity Princeton Univ. (1962) pp 307-8
- [Faga76] Fagan, M.E. "Design and code inspections to reduce errors in program development" in IBM Systems Journal V.15,3 (1976)
- [Fair85] Fairley, Richard E. Software Engineering Concepts McGraw-Hill Book Co. (1985)
- [Fern80] Fernelius, W.C.; Waldo, W.H.; "Role of Basic Research in Industrial Innovation" in Research Management (Jul 1980)
- [Fost86] Foster, R.N. "Timing technological transitions" in Horwitch, M. ed. Technology in modern corporation, New York, Pergamon Press (1986) pp 35-49
- [Free87] Freeman, Peter Software Perspectives - The system is the message Addison-Wesley Pub. Co (1987)
- [Free91] Freeman, Peter; Gaudel, MC "Building a foundation for the future of Software Engineering" in Communications of ACM, V.34,5 (1991) pp 32-33
- [Fria86] Friar, J.; Horwitch, M. "The emergence of technology strategy: a new dimension of strategic management" in Horwitch, M. ed. Technology in modern corporation, New York, Pergamon Press

- (1986) pp 50-85
- [Frie86] Friedman,A.L. Software Industry and Data Processing in the USA: work organization and employment structure A report for Directorate - General Employment, Social Affairs and Education - Bristol, Commission of the European Communities (1986)
- [Fuji85] Fujino,K. "Current status and trends of software industry in Japan" paper apresentado no 1º Workshop do Projeto da Fábrica de Software Brasileira, Rio de Janeiro - SEI (1985)
- [Gaio90] Gaio,Fatima J. "The development of computer software technological capabilities in developing countries - a case study of Brazil" PhD Thesis, Univ. of Sussex (1990)
- [Gaio91] Gaio, Fatima J. "Software strategies for developing countries lessons from the Brazilian case" in H.Schmitz & J. Cassiolato (eds.) High-tech for Industrial Development IDS- Univ. of Sussex (1991)
- [Hopk72] Hopkins,M.E. "A case for go to" in Proceedings of the 25th National ACM Conference (Aug 1972) pp 787-790
- [Hump87] Humphrey, Watts S. Characterizing the Software Process: A maturity framework SEI - Carnegie Mellon University - (1987)
- [IDC86] IDC-C&L Computer Services Industry 1986-1996- a decade of opportunities working paper, London, Department of Trade and Industry (1986)
- [Ipea76] IPEA Difusão de inovações na indústria brasileira: 3 estudos de caso monografia número 24 IPEA (1976)
- [Kedd88] Keddie,J. "More on production techniques in Indonesia" in Stobaugh,R & Wells Jr,L. T. ed. Technology crossing borders Boston Mass., Harvard Business School Press (1988) cap. 4 pp 69-83
- [Klim88] Klimstra,Paul D.; Potts,Joseph "Managing R&D projects" in Research-Technology Management (Mar-Apr 1988) pp 23-39
- [Knut77] Knuth,Donald "Structured programming with go to statements" in T.Yeh ed. Current trends in programming methodologies (1977)
- [Kraf79] Kraft,P. "The industrialisation of computer programming from "programming" to "software production"" in Zimbalit,A. ed. Case studies on the labor process New York Monthly Review Press (1979)
- [Kraf86] Kraft,P.; Dubnoff,S. "Job content, fragmentation and control in computer software production" in Zimbalit,A. ed. Case studies on the labor process New York Monthly Review Press (1986)
- [Lanc77] Lancaster,G. A. & White,M. "The diffusion and adoption of textile chemicals and dyestuffs within the UK textile industry" in Research Policy 6(1977) pp 358-373

- [Lang72] Langrish, J.; Gibbons, M.; Evans, W.G.; Jevons, F.R.; Wealth from knowledge MacMillan, London (1972)
- [Lecr88] Lecraw, D. J. "Choice of technology in Thailand" in Stobaugh, R & Wells Jr, L. T. ed. Technology crossing borders Boston Mass., Harvard Business School Press (1988) cap. 5 - pp 85-107
- [Lyyt87] Lyytinen, Kalle "Different perspectives on Information Systems: Problems and solutions" in ACM Computing Surveys 19,1 (Mar 1987) pp 5-46
- [Metc81] Metcalf, J.S. "Impulse and diffusion in the study of technical change" in Futures, (oct 1981) pp 347-359
- [Miya90] Miyazaki, Kumiko "The failure of the National project SIGMA, which lasted 5 years spending 25 million yen" in Nikkei Computer (dec 1990)
- [Moad90] Moad, Jeff "The Software Revolution" in Datamation (Feb 1990) pp 22-30
- [Nova91] Novaes, C.A. "A revisão organizacional do sistema Petrobrás" video da palestra realizada no auditório Petrobrás (jan 1991)
- [Pavi87] Pavitt, K.; Robson, M.; Townsend, J.; "Technological accumulation, diversification and organisation" SPRU - University of Sussex (1987)
- [Pavi90] Pavitt, K. "Key characteristics of the large innovating firm" SPRU, Univ. of Sussex (1990)
- [Pere86] Perez, C. "Las nuevas tecnologías: una vision de conjunto" in Ominami, C. (org) La tercera revolucion industrial Impactos internacionales del actual viraje tecnologico CEL/RIAL (1986) pp 43-89
- [Pet192] Relatório Anual 1991 Serviço de Comunicação Social da Petrobrás (abr 1992)
- [Pet292] Conheça a Petrobrás Serviço de Comunicação Social da Petrobrás (abr 1992)
- [Piet84] Pietrasanta, Al "Software Engineering: the coming revolution" IBM (1984) vídeo
- [Port85] Porter, Michael "How information gives you competitive advantage" in Harvard Business Review (Jul-Aug 1985)
- [Pres88] Pressman, Roger S. "Software Engineering - A practitioner's approach" McGraw-Hill Book Co (1988)
- [Putn76] Putnam, L. "A general empirical solution to the macro software sizing end estimating problem" in IEEE Trans. on Soft. Eng. (dec 1976) pp 345-361
- [Quin89] Quintas, Paul; Hobday, Michael; Guy, Ken; Evaluation of the Alvey Software Engineering program A report to the Information Engineering Directorate, Department of Trade and Industry SPRU (1989)

- [Quin90] Quintas, Paul Software Engineering: the experiences of OECD members countries and the international policy challenge Report to the OECD - SPRU (1990)
- [Quin91] Quintas, Paul Engineering solutions to software problems: some institutional and social factors shaping changes Paper prepared for publication in Technology Analysis and Strategic Management SPRU (1991)
- [Ray89] Ray, George F. "Full circle: the diffusion of technology" in Research Policy 18(1989) pp 1-18
- [Reek71] Reekie, W.D. "On the shelf" Centre for the Study of Industrial Innovation, Univ. of Sussex (1971)
- [Revi85] Revie, C. Determinants in the diffusion of Software Engineering innovations Ms.C. dissertation, Brighton, SPRU/Univ. of Sussex (1985)
- [Robe88] Roberts, E.B. "Managing invention and innovation" in Research-Technology Management (Jan-Feb 1988) pp 11-29
- [Roch87] Rocha, Ana Regina C.da; Análise e projeto estruturado de sistemas Ed. Campus, Rio (1987)
- [Roge83] Rogers, E.M. Diffusion of innovations (3<sup>a</sup> ed.) (1983) Free Press New York
- [Rose76] Rosenberg, N. Perspectives on technology Cambridge UP, London (1976)
- [Rose82] Rosenberg, N. Inside the black box Cambridge UP, London (1982)
- [Rose83] Rosenberg, N. & Frischtak, C. R. "Inovação tecnológica e ciclos de Kondratieff" in Pesquisa e Planejamento Econômicos 13,3 (1983)
- [Roth74] Rothwell, R.; Freeman, C.; Horsley, A; Jervis, V.T.P.; Robertson, A.B.; Townsend, J.; "SAPPHO updated-project SAPPHO Phase II" in Research Policy, Vol.3 (1974)
- [Roth82] Rothwell, Roy; Zegveld, Walter Innovation and the small and medium sized firm Frances Printer Publ., London (1982)
- [Schu39] Schumpeter, J.S. Business cycles: a theoretical and statistical Analysis of the capitalist process McGraw Hill, N.York (1939)
- [Scud91] Scudder, Richard A.; Kucic, A.Ronald "Productivity measures for information systems" in Information & Management 20 (1991) pp 343-354
- [Shaw90] Shaw, Mary "Prospects for an Engineering discipline of software" in IEEE Software (Nov 1990) pp 15-24
- [Tier91] Tierney, Margareth "The formation and fragmentation of computing as an occupation: A review of shifting "expertise"" in Working Paper Series , W.P. 25 - University of Edinburgh - (1991)
- [Tome75] Tomeski, E.A.; Lazarus, H. People-oriented computer systems

- Van Nostrand Reinhold, New York (1975)
- [Twiss80] Twiss, B.C. Managing technological innovation Longman Inc, N.York (1980)
- [Utter75] Utterback, J.M.; Abernathy, W.J. "A dynamic model of product and process innovation" in Omega Vol.3 (1975)
- [Vald88] Valdez, Maria Eloína Pelaez "A gift from Pandora's box: The software crisis" PhD Thesis - Univ. of Edinburg (1988)
- [Well88] Wells Jr, L. T. "Economic man and engineering man" in Stobaugh, R & Wells Jr, L. T. ed. Technology crossing borders Boston Mass., Harvard Business School Press (1988) cap. 3 - pp 46-68
- [Wirt71] Wirth, N. "Program development by stepwise refinement" CACM V.14,4 1971) pp 221-227.
- [Wulf72] Wulf, W.A. "A case against go to" in Proceedings of the 25th Nacional ACM Conference (Aug 1972) pp 791-797



## ANEXO I. METODOLOGIA

O passo inicial deste trabalho consistiu da revisão de correntes da literatura relevantes à difusão de inovações, procurando-se identificar aspectos importantes à difusão, especialmente aqueles vinculados ao lado da demanda. Relativamente à primeira corrente, revisou-se o debate existente, a nível mais geral, sobre processos de difusão de inovações. Foram selecionados fatores relevantes em três áreas de estudo: aspectos de estratégias tecnológicas das empresas, aspectos organizacionais ligados à adoção de inovações e percepções de usuários sobre os atributos da tecnologia. Quanto à segunda corrente, realizou-se uma revisão da literatura técnica sobre Engenharia de Software e sua difusão. Os fatores escolhidos inicialmente foram validados face a essa revisão, passando a formar um conjunto de fatores a serem analisados através do estudo empírico na Petrobrás.

Cada fator foi considerado relevante ao processo difusão se pudesse contribuir, de forma significativa, para a decisão de adoção da inovação ou se se destacasse durante o processo de adoção de forma a influenciar o resultado final, de aceitação ou não, da inovação introduzida na empresa. A figura I.1 mostra um modelo simplificado do processo de difusão, que foi dividido em três etapas: decisão de adoção da inovação, processo de adoção da inovação e propagação da inovação. Tal modelo só pretende ilustrar o tipo de interação existente entre os fatores e o processo de difusão, não pretendendo ser completo. Não ilustra, por exemplo, os "feedbacks" entre o processo de difusão e as áreas geradoras de fatores.

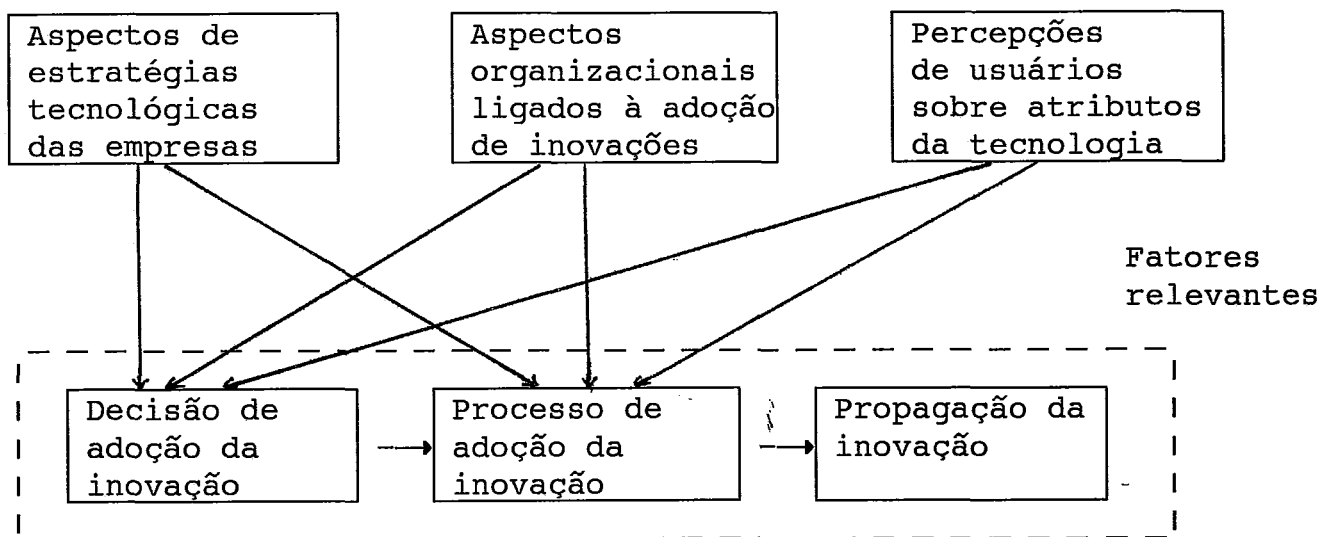


Fig. I.1 Modelo simplificado do processo de difusão



A pesquisa empírica consistiu em se identificar um certo número de iniciativas de adoção de inovações em desenvolvimento de software na Petrobrás e caracterizar o processo ocorrido em cada uma delas, através de entrevistas com pessoas envolvidas, bem como do estudo de documentos considerados importantes para a sua compreensão.

Para a escolha dos casos a serem estudados foram utilizados vários critérios:

- a) eles deveriam abranger o maior número possível de grupos de desenvolvimento da empresa.
- b) os casos deveriam ter ocorrido nos últimos 5 anos, para que fosse fácil encontrar as pessoas envolvidas.
- c) deveriam envolver métodos e ferramentas diversificados.
- d) deveriam ser considerados importantes por técnicos destacados no desenvolvimento de software

Utilizando esses critérios, foi elaborada uma lista inicial de cerca de 20 casos, com o auxílio de técnicos de destaque na área de desenvolvimento de software. Dentre os técnicos contactados estava um grupo que havia preparado, em 1988, um documento com recomendações para a difusão de Engenharia de Software na Petrobrás, sob encomenda da COINF (Comissão de Informática), um colegiado que orientava as atividades de informática na empresa, na época. Dessa lista foram selecionados dez considerados mais significativos. Os casos escolhidos cobrem, direta ou indiretamente, cerca de um terço do total de grupos de desenvolvimento existentes na Petrobrás. Esses casos referem-se a adoção de metodologias estruturadas, uso de prototipação, adoção de ferramentas de desenvolvimento, adoção de metodologia de Sistemas Especialistas, adoção de metodologia de Arquitetura de Informações, utilização de pacotes.

Em cada caso estudado foram entrevistadas 1 a 4 pessoas. O gerente do setor envolvido foi entrevistado em todos eles. Na maioria das vezes, foram também entrevistados alguns técnicos envolvidos. Para as entrevistas, utilizou-se um questionário semi-estruturado e aberto apresentado no Anexo II. Esse questionário foi parcialmente baseado no questionário da rede ICON, uma pesquisa sobre o desenvolvimento de sistemas em países industrializados, coordenada por Friedman [Frie86] e comentada no capítulo 3.

Na entrevista inicial procurou-se caracterizar, o setor em termos de sua organização do trabalho e dos recursos para desenvolvimento existentes tais como: hardware, software e pessoal técnico. Nas entrevistas seguintes, a iniciativa de adoção de inovação. Cada entrevista foi resumida e entregue aos participantes para aprovação.

Frequentemente surgiram dúvidas durante a compilação da entrevista o que levou, na maioria dos casos, a uma segunda entrevista para esclarecimentos adicionais. Além disso, foram coletados documentos relevantes ao caso estudado tais como: atas de reunião, cópias de contrato, pareceres técnicos. Um dos casos estudados tinha sido objeto de dois artigos técnicos em congressos, [Carv89] [Carv90]. Este material também foi usado para compreensão do caso correspondente.

Além das entrevistas diretamente ligadas aos casos de adoção de inovações, foram realizadas três outras, com gerentes de destaque no SERINF (Serviço de Recursos da Informação), o órgão pioneiro da informática da Petrobrás. Essas últimas entrevistas visavam caracterizar a evolução da atividade de informática na empresa, especialmente no que se refere ao desenvolvimento de aplicações corporativas. Foram, também, recolhidos documentos considerados importantes para a compreensão dessas atividades.

## ANEXO II. QUESTIONÁRIO

### PARTE I. Caracterização do setor de desenvolvimento

- a) Caracterizar as atividades do setor e da divisão
- b) Caracterizar o pessoal do setor quanto a lotação, formação profissional, perfil desejado x perfil atual, movimentações de pessoal nos últimos 3 anos e previsões para o próximo ano. Destacar a utilização de mão de obra contratada em bases temporárias e estagiários.
- c) Caracterizar os recursos de hardware/software do setor.
- d) Caracterizar o treinamento quanto ao tipo de treinamento, meio utilizado, volume de treinamento necessário x realizado, número médio de dias úteis de treinamento nos últimos 3 anos.
- e) Enumerar as estratégias de desenvolvimento usadas (desenvolvimento interno, contratação externa, uso de pacotes, desenvolvimento pelo usuário final). Identificar proporções utilizadas, diferenças em padrões e controles.
- f) Caracterizar a divisão de trabalho desenvolvimento x manutenção x suporte ( se existe divisão, critérios de alocação de pessoal)
- g) Caracterizar a organização de equipes de desenvolvimento (tipo de equipes, tamanho, evolução, critérios para sua formação, autonomia na formação, separação análise x programação)
- h) Explicitar a origem dos trabalhos do setor.
- i) Descrever os critérios e a forma de atribuição de prioridades a projetos.
- j) Caracterizar o envolvimento da gerência superior nos trabalhos (em que etapas, frequência, formas de relato usadas)
- k) Descrever o envolvimento dos usuários nos projetos (em que etapas, frequência, tipos de relato, grau de envolvimento)
- l) Caracterizar o registro de desempenho de programadores/analistas (tipos de registro, utilização)

- m) Indicar como são feitos a atribuição de tarefas e o acompanhamento de tarefas e de custos (métodos de atribuição, tamanho das tarefas, formas de controle)
- n) Caracterizar o uso de padrões (quem desenvolve, quem garante o uso)
- o) Explicitar o controle de qualidade usado (métodos por etapas, registros e métricas utilizadas, diferenças de acordo com o tipo de desenvolvimento)
- p) Indicar os métodos e as ferramentas utilizados p/ desenvolvimento (por etapas, quem introduziu, qual a aceitação dos técnicos, influência dos fornecedores, qualificação do pessoal, compatibilidade com procedimentos atuais, resultados demonstrados, padrões, esforço para aprendizado, relato de casos)
- q) Caracterizar pontos fortes e fracos do setor
- r) Opinião sobre questões importantes para o desenvolvimento de sistemas.

## PARTE II. Caracterização de iniciativas de adoção de inovações

- a) Caracterizar a inovação
- b) Como e onde surgiu a idéia de adotar a inovação?
- c) Quem propôs a adoção da inovação?
- d) Quais as razões alegadas para a adoção da inovação?
- e) Como foi o processo de decisão sobre a adoção da inovação?
- f) Caracterizar o tipo de relacionamento ocorrido entre os fornecedores da inovação, antes da decisão de adoção da mesma.
- g) Caracterizar o tipo de contato que houve com outras empresas para obtenção de informações sobre a inovação, antes da decisão de sua adoção.
- h) Que experimentação houve antes da decisão de adoção da inovação?
- i) Como foi planejado o processo de adoção da inovação?
- j) Qual a unidade organizacional ficou responsável pelo processo de adoção?
- k) Qual a forma de participação dos futuros usuários da inovação no processo de adoção?
- l) Que tipo de intercâmbio houve com outras empresas durante o processo de adoção da inovação?
- m) Qual o tipo de contrato feito com o fornecedor da inovação?
- n) Quais as bases do contrato com o fornecedor da inovação, em relação à transferência de tecnologia?
- o) Qual a forma de relacionamento com o fornecedor da inovação, durante o processo de adoção?
- p) Que equipamentos/software/documentação foram recebidos do fornecedor?
- q) Que equipamentos/software/documentação foram gerados durante o processo de adoção da inovação?

- r) Que problemas (institucionais, de recursos, administrativos ou outro tipo) ocorreram durante o processo de adoção?
  - s) Como foi feita a avaliação da inovação, ao final do processo de adoção?
  - t) Qual a forma utilizada para a propagação da inovação?
  - u) Quais as vantagens trazidas pela inovação?
  - v) Quais as desvantagens?
  - w) Quais as mudanças na distribuição de tarefas provocadas pela inovação?
  - x) Quais as mudanças na estrutura organizacional (formal/informal) provocadas pela inovação?
  - y) Quais os complementos necessários percebidos em relação à inovação?
  - z) Quais as influências da inovação na adoção de outras inovações?
- 1) Como foi percebido o esforço de aprendizado necessário?
  - 2) Como foi percebido o custo envolvido no processo de adoção da inovação?
  - 3) Que problemas (institucionais, de recursos, administrativos, institucionais ou outros) ocorreram durante a propagação da inovação?
  - 4) Comentar outros aspectos relevantes ao processo de adoção.