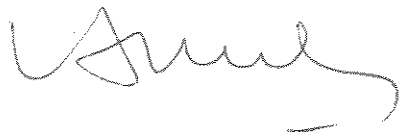


CONDICIONANTES SÓCIO-TÉCNICOS DA EXTRAPOLAÇÃO
(SCALE-UP) DE PROCESSOS QUÍMICOS

Estudo de Caso: Projeto de Desenvolvimento do Processo
de Produção de Sílica Via Anidrido Carbônico
no Centro de Pesquisas da Rhodia
Paulínia - SP

OMAR EDGARDO SOLTERMANN

*Este exemplar corresponde à
revisão final da tese
defendida por Omar Edgardo
Soltermann e aprovada
pela Comissão Julgadora
em 20/08/92*



Dissertação de Mestrado apresentada
ao Departamento de Política Cientí-
fica e Tecnológica do Instituto de
Geociências da Universidade Estadual
de Campinas - UNICAMP, para a
obtenção do Título de Mestre em
Política Científica e Tecnológica.

ORIENTADORA: PROF^a. DR^a. HEBE M.C. VESSURI
(D. Phil.Oxoniensis)

CAMPINAS, 21 DE JULHO DE 1992

So49c

17296/BC

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

AGRADECIMENTOS

Agradeço, de maneira especial, à Professora Dr^a HEBE VESSURI, ex-chefe do Departamento de Política Científica e Tecnológica, do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas; atualmente *Directora do Departamento de Estudios de la Ciencia do Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas*, que, na qualidade de orientadora, com imensa paciência, contribuiu com suas críticas e revisões, acompanhando de forma construtiva e inovadora todo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Srs. Edson Vaz Musa e Paolo Belotti, presidente e vice-presidente respectivamente do grupo Rhodia S/A, pela oportunidade que me deram de recuperar a memória dos anos que passei no Centro de Pesquisas da Rhodia, onde participei ativamente do projeto de desenvolvimento do processo Sílica via Anidrido Carbônico, o qual constituiu-se no estudo caso para este trabalho.

À minha esposa, Beatriz pelo apoio dado no dia-a-dia deste trabalho e na motivação para continuar o trabalho até este ficar finalizado.

Considero relevante destacar o papel que o Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas teve na minha formação, e agradeço desde já aos professores do Mestrado em Política Científica e Tecnológica.

Aos meus amigos José Almeida de Souza Jr., pelos seus comentários e correções e a Carlos Eduardo Marengo pelos comentários sobre o projeto Sílica via Anidrido Carbônico.

Agradeço imensamente à minha equipe e a todos os que colaboraram nos anos 80, dentro do Centro de Pesquisas da Rhodia, conscientemente, no trabalho de P&D do processo Sílica via Anidrido Carbônico, como uma grande experiência de aprendizagem.

Agradeço ainda ao pessoal não-docente do Instituto de Geociências pelo serviço que prestaram nas inúmeras oportunidades em que, de alguma forma, colaboraram para que este trabalho chega-se ao seu fim.

RESUMO

A extrapolação (scale-up) é o processo de trabalho que permite passar de uma escala de laboratório ou piloto de desenvolvimento, para uma escala ampliada de produção. É também um mecanismo de seleção de equipamentos e de condições de operação industrial, mas cuja construção obedece a regras de ordem social, política e técnica. A necessidade da abordagem empírica da extrapolação é demonstrada sob o ponto de vista da teoria da similaridade de sistemas e do conceito de aplicabilidade da teoria geral a problemas específicos, estes definíveis por condições de contorno empíricas. São apontadas tipos de incertezas envolvidas na extrapolação, e a falta de dados sobre esta, agravada pelo baixo nível de informação contido em patentes. É mostrado o processo de trabalho de inovação na química industrial e sugerido que a experimentação-piloto constitui um paradigma metodológico desta. Além disto, é apresentada a contingência e subjetividade do processo de P&D do objeto tecnológico sob construção, onde os problemas dominantes representam uma ótica dos atores participantes. A heterogeneidade dos sistemas tecnológicos, a sinuosidade do processo decisório e a incorporação da subjetividade do trabalho sob a forma de regras heurísticas incorpora a história do processo de P&D na prescrição do objeto extrapolado.

PALAVRAS CHAVES

- (1) EXTRAPOLAÇÃO (SCALE-UP)
- (2) REGRAS HEURÍSTICAS
- (3) PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
(P&D)

ABSTRACT

The extrapolation procedure (scale-up) is a labor process which allows the change from a laboratory or pilot- scale or development to a fully blown scale of production, It is also a mechanism of selection for the equipment and general industrial operating conditions, whose accomplishment depends on social, political and technical rules. The need for an empirical approach of the extrapolation question is demonstrated by the standpoint of the theory of systems similarity and by the concept of usefulness of the general theory to specific problems, definable by empirical boundary conditions. We point out here the kinds of uncertainty involved in the extrapolation procedure, the lack of information about it, further aggravated by the poor quality of the data from patents. We show here the innovation labor process concerning industrial chemistry. We also suggest that the pilot-scale experimentation is a methodological paradigm of it.

In addition to all that, we point out the contingency and the subjectivity of the R&D process regarding the technological object under construction, where the dominating problems represent a point of view of the participating actors.

The heterogeneity of the technological systems, the sinuosity of the decision making process and the incorporation of the subjectivity of labor under the realm of heuristic rules, incorporates the history of the R&D process as far as the prescription of the extrapolated object is concerned.

KEY WORDS

EXTRAPOLATION (SCALE-UP)
HEURISTIC RULES
RESEARCH AND DEVELOPMENT (R&D)

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACTS

INTRODUÇÃO.....1

CAPÍTULO I INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, CONDICIONANTES SOCIAIS E
EXTRAPOLAÇÃO PRODUTIVA

1. A Extrapolação Produtiva-Definições.....01
2. Operações Unitárias e Desenvolvimento Disciplinar.....06
3. Ciência Normal, Ciência Finalizada e Tecnologia.....10
 - 3.1. Os Conceitos de Paradigmas Científico e Tecnológico.....11
 - 3.2 Diferenças entre a Abordagem Kuhniana da Ciência e a Ciência Finalizada.....16
4. Extrapolação e Perigos.....20
 - 4.1 Indústria Química e Perigos.....20
 - 4.2 Inovação e Escala de Produção.....25
5. Sociologia da Inovação e Pesquisa Industrial.....27
 - 5.1 Quadro Analítico Atual.....27
 - 5.2 A Construção do Objeto da Extrapolação.....32
6. Patentes e Inovação.....34
7. A Extrapolação como Processo de Trabalho.....37

NOTAS.....43

CAPÍTULO II PROCESSO DE TRABALHO DE INOVAÇÃO NA QUÍMICA INDUSTRIAL

1.	Prospecção Tecnológica.....	46
1.1	A Idéia Inicial.....	47
1.2	Pesquisa Preliminar.....	47
1.3	Dossier Operacional de P&D.....	48
2.	Projeto Experimental.....	50
2.1	Metodologia Experimental de P&D.....	50
2.1.1	Ensaio de Orientação.....	50
2.1.2	Critérios Técnico-econômico de Avaliação.....	51
2.1.3	Ensaio Programado.....	52
2.1.4	Ensaio de Comprovação.....	56
2.1.5	Otimização de Processos.....	57
2.1.6	Estudo de Sensibilidade e Parâmetros.....	58
2.2	Metodologia e Regras Heurísticas.....	59
2.2.1	Regras Heurísticas.....	63
2.2.2	A Heurística do Problema de Pesquisa.....	68
3.	A Unidade Piloto.....	70
3.1	Objetivos Gerais da Unidade-Piloto.....	70
3.2	Escolha da Escala-Piloto.....	73
3.3	Características dos Estudos-Piloto.....	75
3.4	Extrapolação de Operações Unitárias	78
4.	Extrapolação de Escalas e Similaridade.....	80
4.1	O Princípio de Similaridade.....	82
4.2	Análise Dimensional.....	90
4.3	O Conceito de Regime.....	92
4.4	Similaridade e Equações de Escala.....	93
	NOTAS.....	98

CAPÍTULO III ESTUDO DO PROCESSO INOVATIVO E DA EXTRAPOLAÇÃO DO
PROCESSO SÍLICA VIA ANIDRIDO CARBÔNICO NO CENTRO
DE PESQUISA DA RHODIA

1.	O Contexto Institucional e Histórico do Projeto.....	101
1.1	A Empresa RHODIA S/A.....	101
1.2	O Centro de Pesquisas e suas Atividades.....	103
1.3	Disponibilidade do Centro de Pesquisas.....	103
1.4	Recursos Humanos do Centro.....	104
2.	A Idéia de Desenvolvimento do Processo Sílica via Anidrido Carbônico (SAC).....	108
3.	Natureza Técnica e Relações Profissionais.....	112
3.1	O Produto Sílica e seus Processos de Produção...	113
3.2	Precipitação da Sílica: Operação Chave.....	114
3.3	A Precipitação da Sílica com Anidrido Carbônico.	117
3.4	Quadro Organizacional da Pesquisa.....	118
3.5	O Social no Laboratório a Equipe e o Técnico....	120
4.0	O Projeto Sílica via Anidrido Carbônico (SAC).....	127
4.1	Uma Idéia Realizável.....	127
4.2	O Trabalho no Laboratório.....	129
4.3	Ensaio na Escala de 20 litros - A Verinha.....	131
4.4	Ensaio na Escala de 60 litros - A Verona.....	135
4.5	Ensaio de Extrapolação na Escala Industrial 40 m ³	138
4.5.1	A primeira Série de Ensaio - Uma Decisão Política.....	138
4.5.2	A Segunda de Série de Ensaio - O Mecanismo de Seleção de Equipamentos.....	140
4.6	Mudanças na Equipe e a Revisão do Processo.....	143

4.7	Ensaio em Terra Estranha, Pessoal Estranho e Piloto Adequado - As Dificuldades da Extrapolação.....	145
4.8	Mudanças Internas na Organização e Hierarquia...	146
4.9	O Plano de Otimização do Processo.....	150
4.10	Intrapolação de Dados da Escala Industrial para a Piloto.....	152
4.11	A Caixa Preta das Incertezas.....	155
4.12	Patentes e Informação sobre a Extrapolação.....	157
4.13	Patenteamento de um Processo SAC.....	162
4.14	O Estudo da Lavagem Ácida, A Salvação do Projeto.....	164

CAPÍTULO IV COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

1.	Comentários e Conclusões.....	168
2.	Ciência Finalizada, Sistemas Complexos e Extrapolação.....	168
3.	P&D, Necessidades Externas e Trabalho.....	173
4.	Patentes, Extrapolação e Regras Heurísticas.....	177
5.	Experimentação Piloto: Uma Paradigma Metodológico....	181
6.	Extrapolação e Incerteza Inovativa.....	191

7. A Grande Lição Política.....	196
---------------------------------	-----

BIBLIOGRAFIA.....	202
-------------------	-----

ANEXOS

INTRODUÇÃO

Este trabalho trata dos condicionantes sócio-técnicos da extrapolação de escalas. Ao longo da dissertação se destacam os temas que de alguma forma ajudam à compreensão do problema do aumento de escala.

No primeiro capítulo são apresentadas diferentes definições existentes acerca da extrapolação. São abordadas as razões que levaram ao desenvolvimento disciplinar das operações unitarias. É mostrado o fato de que as operações unitarias assentam-se sobre uma ciência finalizada, a hidrodinâmica, e enfocados elementos importantes que implicam na necessidade de abordagem empírica do problema da extrapolação. Uma vez que esta é a responsável pelo aumento de escala, ela é indispensável para se obter uma condição ampliada da extração de excedente. É analisado a nível teórico o processo de construção dos objetos tecnológicos com conceitos da sociologia da inovação. Por último, após esta análise conceitual, é elaborada uma definição que permite estabelecer a extrapolação como um processo de trabalho.

O segundo capítulo relata o processo de trabalho de P&D para o caso da química industrial. É dado destaque à experimentação-piloto como meio de estudo da realidade e de adaptação do comportamento dos fenômenos aos requisitos técnico-econômicos de viabilidade produtiva. São analisadas as fases mais importantes de P&D, a composição do trabalho heterogêneo do piloto, e a natureza subjetiva da abordagem dos problemas técnicos, mediante regras heurísticas da engenharia, na construção dos objetos tecnológicos.

A última etapa do processo inovativo é analisada sob o conceito de similaridade e é demonstrada a dependência dos parâmetros que dominam os diferentes tipos de regime (dinâmico, térmico, químico) com relação ao fator linear de escala.

O terceiro capítulo trata do estudo de caso. Este analisa o processo

inovativo e especialmente o estudo da extrapolação da P&D do processo Sílica via Anidrido Carbônico, no Centro de Pesquisas da Rhodia durante o período 1979 a 1984. Foram observados os condicionantes sócio-técnicos e a heterogeneidade do processo inovativo, a subjetividade e a contingência do processo decisório, os diversos tipos de interesses envolvidos, as rupturas, e as decisões que marcaram o objeto de extrapolação.

No quarto capítulo é analisada a extrapolação de sistemas complexos à luz do conceito de ciência finalizada, concluindo sobre a necessidade de abordagem empírica deste tipo de problema. São observados, a heterogeneidade do trabalho tecnológico, e os diferentes tipos de incerteza que acompanham o processo inovativo. É mostrada para o estudo de caso, a baixa qualidade da informação sobre escalas e extrapolação disponível a nível de patentes e as implicações deste fato para a capacitação no assunto.

É sugerido que a experimentação-piloto constitui um paradigma metodológico para a inovação em química industrial e em especial para a abordagem da extrapolação, sendo relatadas questões peculiares das instalações-piloto e as incertezas do processo de inovação.

Como último ponto são destacadas no estudo de caso, as rupturas e decisões mais importantes do projeto como um rico processo de capacitação de recursos humanos e de obtenção de um complexo objeto tecnológico.

CAPÍTULO I

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, CONDICIONANTES SOCIAIS E EXTRAPOLAÇÃO PRODUTIVA

1. EXTRAPOLAÇÃO DE PROCESSOS QUÍMICOS - DEFINIÇÕES

O conceito de extrapolação é vasto e existem vários sinônimos para referir-se a ele. Usam-se assim os termos aumento de escala, escalamento e os termos ingleses *scale up* e *scaling up*. Em francês utiliza-se o termo *extrapolation*. Este é utilizado em inglês com a mesma grafia e com significado estritamente técnico, (Lelan, A., 1977, p.32).

Dependendo do caso e da área considerada o conceito apresenta algumas diferenças de enfoque:

Segundo Lelan a extrapolação tem como objetivo reproduzir em escala industrial, os resultados obtidos de uma operação física ou química efetuada em escala de laboratório ou piloto. Esta é uma definição do ponto de vista da engenharia de processos.

No livro *Pilot Plants, Models and Scale-up Methods in Chemical Engineering* (Johnstone, R.E., Thring. M.W., 1957), é utilizado o conceito de aumento de escala (*scale-up*). Aparece o termo *extrapolation* como a extensão das relações de similaridade em relação a sistemas onde as condições não são estritamente iguais, sendo aplicado a plantas pilotos e modelos experimentais.

Para entender o conceito de extrapolação precisam-se outras definições a começar pela definição de instalação ou planta piloto¹⁾:

Entende-se como planta piloto qualquer planta em pequena escala que provê informação avançada acerca de uma futura unidade em grande escala, podendo existir distinções entre escala semi-técnica, piloto e semi-comercial.

Já no primeiro *Handbook of Chemical Engineering* de Davis, publicado em 1901, é mostrada a importância da escala piloto, percebendo a componente de incerteza que envolve a definição de escala industrial:

A small experiment upon a few grammes of material in the laboratory will not be used in guiding to erection of a large work, but there is no doubt that an experiment based upon a few kilogrammes will give nearly all the data required (Davis, G., 1901).

Em 1916 Baekeland afirmava:

Commit your blunders on a small scale and make your profits on a large scale (Baekeland, L.K., 1916, p 184).

Do ponto de vista da engenharia química, o que permite *pular de escala* é a extensão da similaridade²⁾ de dois sistemas diferentes em termos de tamanho produtivo. A similaridade é a condição de dois ou mais sistemas entre os quais existe uma relação constante entre quantidades correspondentes. A exemplo disto, a similaridade pode ser geométrica, mecânica, térmica, química, bioquímica, dependendo das propriedades em relação às quais os sistemas são similares. Na ordem exposta, os diferentes tipos de similaridade incluem as anteriores; a similaridade química supõe a existência de similaridade térmica, mecânica e geométrica.

A questão da similaridade levou ao desenvolvimento de uma teoria modelo que permitisse o escalamento dos processos poupando boa parte do desenvolvimento experimental. O uso de ferramentas estatísticas para o projeto de experimentos, permitiu planeja-los de forma a tornar os desenvolvimentos mais baratos e menos demorados.

Muitas vezes um processo comporta-se satisfatoriamente na escala piloto, porém o mesmo não acontece na escala industrial, apesar

de satisfazer exigências teóricas de similaridade. No caso que nos interessa, isto é, processos químicos, e em especial o de operações unitárias agitadas, há condições que são difíceis de serem mantidas dentro da similaridade apontada pela teoria, devido à mudança de regime dos fluídos com o aumento da escala.

Na *Handbook of Chemical Engineering de Perry*, em sua 50ª edição em inglês , é relatado que:

Um scale-up satisfatório requer uma etapa empírica na qual o tamanho do reator é incrementado sucessivamente com o objetivo final de alcançar a escala industrial. Isto é altamente custoso e assim são eliminados alguns passos nessa razão incremental.

O scale-up de um reator químico é usualmente limitado ao simples sistema de reação. Em geral, é impraticável se não for impossível, ter uma completa similitude dimensional num sistema químico. Isto é basicamente atribuído à impossibilidade de se manter a mesma condição em reatores de diferentes escalas que permitam manter a velocidade global de uma reação química sujeita aos mesmos parâmetros, na mesma extensão (Perry & Chilton, 1983, 4-21).

Voltando para a explicação do conceito de extrapolação, encontramos no *Biochemical Engineering de Aiba et alii* a definição de *scale-up* como:

O estudo do problema associado com a transferência de dados obtidos no laboratório e equipamentos pilotos à produção industrial (Aiba, et alii, 1973, p. 195).

Peter e Timmerhaus estabeleceram fatores de *scale-up* de projeto de equipamentos, onde se observa que, do ponto de vista

técnico, é necessário o estudo do processo na escala piloto. É normal que as unidades-piloto sejam construídas também com o fim de produzir quantidades *comercializáveis* de produtos. O próprio piloto é às vezes construído para se levantar de forma macroscópica, as informações necessárias para o cálculo de uma unidade industrial, quando os dados não estão disponíveis, como no caso do cálculo de agitadores, na avaliação da periculosidade de reações numa operação unitária e outros problemas.

Outra definição de *scale-up* é a referida ao processo de transição tecnológica:

O scale-up e a transição de procedimentos a processo, é uma série de operações que conduzem a um final como na fabricação (Van Brunt J, 1985, p. 419).

Embora o *scale-up* nunca deva ser tecnicamente impossível, resulta difícil definir todos os parâmetros que entram no processo de desenvolvimento. Para desenvolver um processo é necessário ter visão total de qual produto será feito, o que, quanto e quando será necessário. Estes parâmetros poderão ser dinâmicos, dependendo do tipo de mercado considerado pelo produto final, objeto de processo de desenvolvimento. Os objetivos específicos do processo, tais como rendimento do produto, custos, concentração do produto final e outros, devem ser um tanto flexíveis, mas cumprindo requisitos mínimos.

O processo deverá ser suficientemente simples, de modo tal que seja possível seu controle com baixos custos. Em caso de ser complexo deverão ser conhecidas todas as suas interações.

Em nível dos perigos de processo, deverão ser identificados os eventos perigosos e determinada a probabilidade de ocorrência dos mesmos nos casos que representam riscos maiores, seja à saúde dos trabalhadores, ao meio ambiente e ao público em geral. À análise de

perigos (Hazard Analysis) é de grande importância para acompanhar o desenvolvimento de um projeto desde a idéia inicial até sua implantação. Consiste numa análise crítica estruturada desenvolvida em parte na própria indústria química (Kletz, TA, 1985, p. 48) e baseada em regras heurísticas e dinâmica do grupos. A técnica permite avaliar e quantificar os perigos durante toda a fase de P&D de um projeto. Hoje, esta metodologia constitui a maior barreira a ser ultrapassada ao efetuar a extrapolação nos países onde existe uma legislação sobre riscos que acompanha o desenvolvimento tecnológico. Além de se pensar no processo em termos do sucesso do *scale-up* em relação aos seus parâmetros técnico-econômicos, deve-se considerar também a segurança que o processo oferece em termos do processo em si, sua operabilidade, e com relação a saúde e ao meio ambiente (CIA, 1977, p. 6).

Usualmente, o caminho é tornar o processo mais seguro, diminuindo a probabilidade de ocorrência de eventos perigosos (Lawnley, H.G., 1974, p. 45). Em muitos casos as ações necessárias são tão custosas que inviabilizam o projeto. Se as mudanças a introduzir, são financeiramente viáveis dentro das previsões do projeto, elas oferecem a longo prazo também, um retorno financeiro importante. Esta consiste na própria prevenção de perdas dada pela diminuição da probabilidade de ocorrência de eventos catastróficos como consequência da eliminação de deficiências de projeto descobertos pelos estudos de perigo.

No caso da biotecnologia, o *scale-up* não é uma simples questão de cálculo e/ou multiplicação de escala. Os parâmetros que governam o crescimento de uma população de uma espécie recombinante (rADN), não são necessariamente os mesmos nas escalas de 10, 100 ou 1000 litros. Existem dois ingredientes básicos cujo comportamento de extrapolação deve ser conhecido: o microorganismo e o bio-reator (Bull, A.T., et alii, 1982, p. 26).

Os resultados obtidos em pequena escala dão uma correlação da interação de ambos, porém, quando é efetuado o aumento de escala, alguns parâmetros mudam. A exemplo disto, existem os primeiros

experimentos em grande escala os quais sugerem modificações posteriores no microorganismo, no fermentador ou em outros aspectos do processo. Isto leva a uma nova série de ensaios. A questão pode se repetir até chegar à escala industrial, por incrementos em duas ou três vezes na escala anterior.

Purchas e Wakeman, assumem a definição da extrapolação do ponto de vista do equipamento que é objeto da mesma. Eles apontam dois significados diferentes para o termo *equipment scale-up*. Por um lado, está o conceito explícito, que consiste na obtenção e extrapolação de dados a partir de uma escala pequena que permite especificar os equipamentos para operações em grande escala. O conceito implícito, no qual a extrapolação é estabelecida e efetuada somente quando é provável projetar ou encontrar no mercado equipamentos apropriados para os serviços propostos e na escala pretendida (Purchas, D.B., Wakeman, R.J., 1983).

No caso do conceito explícito, é sempre efetuada uma abrodagem experimental do problema. A programação de ensaios é dirigida para o levantamento dos dados necessários para a especificação e aquisição dos equipamentos de produção à escala industrial. Deve-se também permitir uma avaliação qualitativa sobre as prováveis características de desempenho dos tipos de equipamentos sob escolha, existentes no mercado e do seu desempenho em condições de operação na escala industrial. Neste sentido, a extrapolação é o mecanismo de seleção tecnológica que permite aprovar, descartar ou projetar bens de capital, subsidiando as decisões de investimento.

2. OPERAÇÕES UNITÁRIAS E DESENVOLVIMENTO DISCIPLINAR

O objetivo do projeto de uma planta de produção química é desenvolver uma unidade completa que pode ser operada de acordo com aspectos de produção econômico-industrial. Para alcançar este objetivo,

o engenheiro químico deve saber combinar equipamentos e/ou componentes e transformar assim a idéia em uma planta industrial. O sucesso é alcançado se cada uma das operações a efetuar em cada um desses equipamentos, permite atingir as transformações necessárias. Para entender esse processo de objetivação do trabalho intelectual de pesquisa numa planta industrial, é necessário compreender a importância das operações unitárias como fim produtivo e como metodologia do trabalho na engenharia química.

Para observar melhor isto é importante se efetuar algumas leituras históricas do desenvolvimento das operações unitárias. Guédon trata do desenvolvimento das operações unitárias nos Estados Unidos e da caracterização epistemológica do conceito. Ele refere-se as operações unitárias como uma noção e não como um conceito.

As operações unitárias conduzem os fenômenos das operações químicas industriais como uma espécie de operador, cuja função é dupla: primeiro, a operação unitária segmenta a realidade concreta de um processo industrial num certo número de objetos abstratos, segundo, permite a aplicação dos conceitos científicos a estes objetos abstratos. Em outras palavras, transforma a realidade concreta de uma fábrica em uma realidade abstrata, susceptível de ser plenamente estudada por meio de conceitos científicos. É graças às operações unitárias que pode-se efetuar uma divisão clara entre o mundo da ciência e o da produção. Uma sequência de operações unitárias, se bem organizada, traduz-se diretamente num processo produtivo concreto. O engenheiro, quando segmenta um processo em operações unitárias, não tende tanto a entender as operações como a projetá-las e a dirigí-las. Começa assim uma refinada divisão do trabalho de engenharia, como um movimento paralelo àquele que Taylor estabeleceu para a indústria mecânica e para trabalhos seriados (Guedon, J.C., 1980, p. 21-22).

As operações unitárias são provavelmente uma execução no campo da engenharia, onde uma prática tecnológica foi formalizada numa

ciência tecnológica. A transformação de uma prática tecnológica dessa forma facilita sua reprodução (ensino) e o seu desenvolvimento (pesquisa). Ao mesmo tempo em que as operações unitárias segmentam e organizam a química industrial, elas permitem estabelecer as bases sociais e institucionais de um novo discurso disciplinar: o da engenharia química.

David Noble, em *America by Design*, relata que deveu-se a Little, a idéia da formação da primeira escola cooperativa da prática da engenharia química. Ele propôs a criação de um novo curso para o treinamento integrado em química, engenharia e gerenciamento baseado no conceito chave: operações unitárias (Noble, D., 1982, p. 194). Little criou um novo conceito, o da *engenharia química*:

Não é uma composição de química, engenharia mecânica e civil, mas uma das ramas da engenharia, cujas bases são as operações unitárias e estas, em sua própria sequência e coordenação, constituem um processo químico tal como na escala industrial (Little, A.D., 1922).

Segundo Miles, a opinião de Little já era clara em 1915:

Uma elaboração química, em qualquer escala que seja efetuada, pode ser resolvida numa série coordenada daquilo que pode-se chamar de operação unitária, tal como pulverizar, tingir, cristalizar, filtrar, evaporar, eletrolisar e outras. O número destas operações unitárias não é grande, e uma quantidade relativamente pequena destas é empregada numa elaboração específica. A complexidade da engenharia química resulta da variedade de condições, como a temperatura, a pressão, vazão, etc., sendo que as diversas operações devem ser seguidas na elaboração e limitadas para materiais de construção dos equipamentos e as características físico-químicas dos reagentes.

As operações unitárias foram em realidade um invento americano já que o desenvolvimento da disciplina deu-se em forma diferente nos países da Europa. Guedon relata o processo de constituição da disciplina engenharia química.

Nos Estados Unidos as universidades reorganizaram minuciosamente seus currículos em torno das operações unitárias e os engenheiros químicos foram facilmente colocados dentro das indústrias. Na Alemanha foi diferente, e as indústrias reorganizaram sua divisão do trabalho e formaram equipes mistas de químicos e engenheiros. No Reino Unido e na França as indústrias químicas nunca foram bem sucedidas na solução de suas necessidades de forma clara. As instituições de ensino serviram a elas mesmas e não à indústria. Assim, características institucionais diferentes levaram cada um destes países por caminhos diferentes daqueles dos Estados Unidos. Posteriormente na Alemanha, um esquema conceitual alternativo veio ocupar o lugar funcional similar ao das operações unitárias ... A construção da disciplina sob discussão foi o resultado de complexas negociações entre indústrias, universidades e organizações profissionais (Guedon, J.C., 1981, p. 47-70).

A engenharia química aparece assim como resultado de um processo de interação permanente de necessidades externas, econômicas e sociais, com uma dinâmica interna. Claramente o impeto vindo de fora torna-se mais importante à medida que crescem os interesses externos em resultados utilizáveis e a capacidade de soluções técnicas baseadas na ciência (Vessuri, H, 1989, p. 1-5).

Então, como pode-se compreender a engenharia química (disciplina), as operações unitárias (método e objeto de estudo) e a atividade de pesquisa industrial com objetivo final pré-determinado?

Esta questão é importante. O objetivo final da engenharia química é a formalização científica de uma prática tecnológica com fim produtivo. Existe em todo o processo de invenção, inovação tecnológica e o escalamento da produção a partir dos dados de pesquisa e desenvolvimento até a escala industrial, uma exposição a fatores sociais, políticos, institucionais e econômicos que modelam a construção dos objetos tecnológicos. Não está claro que este tipo de ciência seja *normal* no sentido Kuhniano em quanto prática (Bucholz, K., 1979, p. 33).

O que não pode ser negado é que a acumulação de conhecimentos forma um *pool* de ciência normal. Este é o caso do conhecimento das operações unitárias. Na próxima seção serão mostradas as diferenças entre conceitos relacionados à ciência normal, ciência finalizada e ao conceito de teoria fechada.

Existe uma normalidade da ciência da engenharia química que opera via um conhecimento acumulado na forma de regras heurísticas de análise. Estas regras não estão escritas e fazem parte de convenções da comunidade praticante. Estas regras e o seu domínio formam partes das relações de poder entre os membros da comunidade, suas redes de relações, histórico das carreiras, e habilidades que acumulam elementos informais para o exercício das relações intra e extra comunidade sob a forma de regras heurísticas. As grandes decisões industriais são fortemente afetadas por essas regras heurísticas da prática da engenharia.

3. CIÊNCIA NORMAL, CIÊNCIA FINALIZADA E TECNOLOGIA

Segundo a terminologia de Kuhn, podem-se distinguir três fases no desenvolvimento da ciência³⁾:

- * Fase Exploratória
- * Fase Paradigmática
- * Fase Pós-Paradigmática

A compreensão deste desenvolvimento supõe um conceito chave:
o de paradigma.

3.1. O CONCEITO DE PARADIGMA CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

Barnes define referindo-se a Kuhn, o conceito de paradigma científico (PC) como:

Uma heurística social e cognoscitiva para a investigação em algum campo (Barnes, B., 1982).

Por sua vez, Dosi, define parafraseando Kuhn, o conceito de paradigma tecnológico (PT) como:

Um modelo de solução de problemas tecnológicos (Dosi, G., 1982, p. 147) .

A tecnologia pode ser concebida como um conjunto de elementos do conhecimento, práticos e teóricos. A tecnologia entendida assim aparece como um conjunto de possíveis alternativas e suas perspectivas de desenvolvimento futuro. Ciência e tecnologia devem ser consideradas como sistemas sociais diferentes que observam regras distintas de conduta a partir de suas diferentes tradições profissionais e seus graus de autonomia diferentes em relação à sociedade (Clark, N., 1987, p. 147).

A interrelação entre ciência e tecnologia é histórica e sua leitura permite observar o grau de abertura social de ambos os sistemas: o científico e o tecnológico.

Aparentemente, a discussão sobre a insuficiência de lógica em tempos de crise teórica, pode criar a impressão de que esta, em outros tempos foi suficiente. Se se considera a investigação normal como cumulativa, isto seria aceitável, porém apoiando-se no progresso racional da ciência no sentido **Popperiano**. Segundo **Kuhn**, apesar de existirem períodos revolucionários na história da ciência, durante os períodos *comuns e normais*, é possível avaliar a atividade científica com critérios lógicos independentes. Pelo contrário, se considera a ciência como um campo cognoscitivo socialmente contido, a situação é diferente. A ciência é uma atividade social onde o conhecimento acerca do mundo é buscado é validado (legitimado) de acordo com as condições sociais e políticas. Estas condições são chamadas por **Barnes** de *regras*. Ele estabelece dois tipos de regras:

1. *As associadas à predição técnica e controle, sendo referidas a claros interesses diretos da comunidade científica.*
2. *As associadas a mecanismos de persuasão social e legitimação. Estes interesses são complexos, sutis e ligados por profundas convicções profissionais e ideológicas.*

Os interesses da comunidade científica são de diversos tipos: metafísicos, profissionais e econômicos. O modelo que **Barnes** sugere supõe uma simbiosis entre a comunidade científica e os subsistemas sociais e as instituições, na sua procura de legitimação e poder de pressão junto a grupos de clientes, assumindo um papel de subordinação formal na sua relação social e econômica.

É preciso entender que a comunidade científica utiliza essa simbiose para garantir um isolamento da atividade científica de tal forma que a subordinação formal da ciência é estabelecida numa categoria onde o trabalho do cientista é trabalho criativo, e na sua

maior proporção trata-se de trabalho real.

Um PT possui fortes prescrições sobre as direções da mudança técnica a seguir e aquelas à abandonar. Existe um poderoso efeito excludente entre os paradigmas. Como contradição, e na negação do paradigma superado, surge a noção de progresso técnico. O mecanismo de seleção de paradigmas e trajetórias tecnológicas é dado pela interação Ciência-Tecnologia-Produção, por forças econômicas, e fatores sociais e institucionais.

Define-se uma trajetória tecnológica (TT) como um agrupamento de possíveis direções tecnológicas (ou probabilidades de possíveis direções (Dosi, G., 1982, p. 147).

A definição de trajetória deixa clara a multidimensionalidade desta, já que permite adotar parâmetros sociais e institucionais.(Nelson,R., Winter, S., 1985). A limitação espacial de uma dada tecnologia, (geral e particular) o seu poder de penetração, as complementariedades tecnológicas, a superioridade entre tecnologias, pode ser analisado se observado sob o ângulo das trajetórias,(Dosi, G., 1982).

O conceito de trajetória tecnológica inclui de forma um tanto que primitiva a questão da incerteza dentro do mecanismo de direção da trajetória. Os critérios de seleção são estabelecidos com base na viabilidade tecnológica, *capacidade de comercialização* e lucratividade do paradigma sob consideração.

O conceito de PT é um *construto teórico* que permite por conexão de conceitos existentes, explicar a dinâmica da inovação. Pelo fato de se tratar de um conceito dinâmico, permite explicar e interpretar questões relativas ao processo de mudança técnica. Permite explicar as interrupções na continuidade do progresso técnico normal.

Aparentemente não ajuda a explicar a questão da incerteza, relacionada as expectativas tecnológicas.

Em nível de mercado, as expectativas podem operar por mecanismos mediante os quais são alteradas especificações e é flexibilizado o espaço mercadológico. Por sua vez, as expectativas ao estarem presentes durante todo o processo de desenvolvimento de uma tecnologia, atuam como um mecanismo de *retro-inibição*. Quanto mais dinâmica a transformação, as expectativas geradas são maiores, portanto o processo de difusão é menor. A contradição fundamental é observada em termos de difusão e competitividade. É necessário estabilizar a tecnologia para poder efetuar a difusão da mesma porém, por outro lado, são importantes os melhoramentos para torná-la crescentemente competitiva. A relação não é nem sempre verdadeira, porém observa-se que quanto mais rápida é a geração tecnológica, mais lenta é a difusão por efeito das expectativas do seu melhoramento (Rosenberg, N., 1985).

É importante tratar agora, o que significa essa incerteza porém relacionada com fatores técnicos. As incertezas do desenvolvimento tecnológico e do processo inovativo como um todo culminam na maioria das vezes em análises macroscópicas e modelizados da realidade econômica. A verdadeira incerteza técnica do processo inovativo é cristalizada na geração do produto e/ou processo na sua escala ampliada. A extrapolação das características técnicas dos produtos e processos de uma escala de inovação para a de produção (sem desprezar os requisitos mercadológicos) pode acompanhar o sucesso de geração e difusão, mas é um importante fator de incerteza técnica que acompanha muitos insucessos na geração e difusão tecnológica.

Dentro de uma dada TT, uma tecnologia um tanto velha é pertencente a um paradigma estabelecido, pode por efeito da aparição de uma nova tecnologia, e pelo mecanismo de competitividade, tornar-se mais eficiente. A interação nova-velha por sua vez, afeta as expectativas. Como exemplo disto, têm-se à aparição do Concorde. Em vez de afirmar um

novo paradigma da aviação foi o que serviu para melhoramentos em outros níveis da aviação subsônica de passageiros, tornando a mesma mais competitiva. A velha tecnologia pode de forma sinérgica, incorporar tecnologias complementares. As expectativas de lucro não são somente afetadas pelas expectativas de melhorias nas tecnologias de substituição, mas também pelas relacionadas com as tecnologias complementares, e isto afeta como um todo a decisão de adoção tecnológica. As expectativas de mudança e assentamento de um novo paradigma, influenciam o comportamento dos agentes econômicos. Quanto mais ele cresce mais espera-se seu *amadurecimento* para sua adoção e difusão (Rosenberg, N, 1985).

A comparação dos paradigmas científicos e tecnológicos permite marcar similitudes e diferenças: O conhecimento científico consegue ser legitimado na prática da comunidade científica, no entanto o mesmo não acontece com o conhecimento tecnológico. A comunidade tecnológica é mais complexa e diferenciada de que a comunidade científica. Os PT são mais complexos devido a sua escala e ao seu caráter heterogeneo, já que é difícil estabelecer seus limites, porque participam diferentes comunidades técnicas para diferentes componentes na composição de objetos relacionados com diferentes setores/produtivos. A medida que os PT estabelecem as direções da inovação tecnológica surgem necessidades organizacionais que permitem levar as atividades dentro do paradigma como social e politicamente organizadas. Esta afirmação não significa que os PC não tenham essa organização social e política, acontece que no caso dos PT ela é explícita e determinada.

O conceito de ciência finalizada é útil para o estudo da extrapolação produtiva, tal como veremos nos Capítulos seguintes. Böhme et alii apresentam, as bases da concepção da ciência finalizada. Outros trabalhos do grupo de Starnberg complementaram a construção deste conceito.

A abordagem da *ciência finalizada* procura definir os mecanismos gerais e regras que caracterizam o desenvolvimento de disciplinas científicas com base no papel de fatores externos ao sistema científico quando já uma determinada disciplina tem atingido sua maturidade teórica.

O termo finalização deriva da noção aristotética de *causa finalis*, e estas conotações são os objetivos e propósitos da ciência finalizada.

3.2. DIFERENÇAS ENTRE A ABORDAGEM KUHNIANA DE CIÊNCIA E CIÊNCIA FINALIZADA.

Kuhn interpretou o desenvolvimento das disciplinas científicas em termos de estágios com diferentes características³⁾. Define a ciência como governada pelo paradigma em questão, o qual define quais tipos de assuntos são relevantes e significantes para sua solução, os métodos que garantem o sucesso do trabalho e os tipos de soluções consideradas aceitáveis. O paradigma provê a armação teórica da disciplina mas com problemas abertos cuja solução encontra-se na teoria geral. Assim é possível completar a teoria geral etapa por etapa, e ao mesmo tempo aumentar seu poder explicativo.

As anomalias que se apresentam são problemas que resistem à solução no contexto do paradigma teórico, são normalmente suprimidas e não são bem tratadas. A medida que as anomalias acumulam-se, tornam-se importantes demais para serem desprezadas, e abrindo espaço para a *mudança revolucionária* do mesmo. A pesquisa das anomalias e a necessidade de avanços na estrutura teórica e metodológica estabelecida no período *normal* da ciência, levam ao desenvolvimento e emergência de novos campos científicos (Bucholz, K., 1979, p. 33).

Para Kuhn, a história da ciência e os mecanismo do seu desenvolvimento aparecem predominantemente, governados pela estrutura e dinâmica própria da ciência. O desenvolvimento de algumas aplicações

específicas das disciplinas não parecem seguir esse caminho. Nestes novos campos, as atividades de pesquisa são introduzidas, não pelo ajuste do problema ao paradigma científico, mas por imposições externas, tais como a demanda industrial. Kuhn estabelece os fatores externos como uma nova dimensão, mas continua com sua tese em relação à dinâmica interna da ciência.

Böhme et alii, estabelecem o conceito de *finalização* tentando uma teoria do desenvolvimento científico que permite explicar a externalidade das disciplinas que atingem a maturidade teórica. Eles discutem o declínio do *paradigma Kuhniano do desenvolvimento científico* e apontam três causas fundamentais:

1. *A cristalização de um estado de maturidade teórica nas disciplinas teóricas (ex: física e química);*
2. *Renúncia à procura de explicações causais e a sua substituição por explicações funcionais (ex: psicologia);*
3. *Necessidade de limitar a abordagem sistemática através das premissas analíticas tradicionais em diferentes disciplinas científicas.*

A maturidade de uma disciplina é uma condição para a funcionalização da mesma.

A maturidade é caracterizada pelo acabamento da teoria paradigmática que governa e regula as atividades de uma certa disciplina dando explicações suficientes e aceitáveis aos objetos de pesquisa. A maturidade por um lado leva ao declínio da *dinâmica interna* de uma disciplina, ao mesmo tempo que novas propostas externas devem ser aceitas. Essas propostas externas oferecem problemas alternativos e diretrizes para posteriores atividades de pesquisa e desenvolvimento teórico.

Atualmente, com a crescente relação entre Ciência e Tecnologia, e o aumento da demanda de Ciência por parte do desenvolvimento tecnológico, há uma forte tendência à diminuição aos tempos de assentamento de paradigmas tecnológicos surgidos pela aceitação do seu par na área científica. É neste ponto que se deve iniciar a discussão da fase pós-paradigmática das disciplinas científicas. Seria de pouca validade para o presente trabalho discutir esta questão somente em termos do campo científico e sem ter discutido previamente as semelhanças e diferenças entre os PC e os PT.

Quanto à organização de teorias das disciplinas científicas, estas são claramente formuladas e compreensíveis, as possibilidades de rupturas ou de generalizações espetaculares sobre seus princípios básicos são comensuravelmente reduzidas. Em contraste com a fase paradigmática, a fase pós-paradigmática em uma disciplina não é caracterizada por uma lógica interna a qual determina a direção do processo técnico e seleciona problemas para pesquisa. A possibilidade da maturidade teórica para uma disciplina reside na possibilidade de incrementar o número de problemas que estão abertos ao tratamento teórico. Depois que dessa maturidade teórica de uma disciplina é alcançada, não existe segundo Böhme uma hierarquia clara de resultados aplicativos e pesquisa de ponta. A ciência fica aberta à orientação de acordo com objetivos que não são originados dentro dela. A pesquisa de ponta pode ser planejada seguindo planos institucionalizados de pesquisa básica com certos objetivos em mente. O desenvolvimento teórico com a disciplina pode continuar pelos caminhos indicados por tais objetivos externos (Böhme, G., et alii, 1983). Este processo de desenvolvimento teórico foi chamado de *finalização* pelo grupo de Starnberg.

É um tanto difícil pensar hoje em dia numa ciência isolada do contexto social, mais ainda, torna-se difícil conceber disciplinas tais como a engenharia química sem um fim pré-fixado, sem um planejamento adequado às necessidades produtivas, podendo até atender a necessidades

sociais específicas em função das decisões políticas do planejamento.

Já Kuhn mostrou que a força de manutenção dos paradigmas científicos é intensa, levando as comunidades científicas a continuar aderindo a teorias estabelecidas, em lugar de levantar evidências de natureza contraditória. A fase exploratória de uma disciplina abrange o período do seu desenvolvimento anterior à emergência de teorias que servem para a organização de campos de atividade científica. A metodologia de trabalho segue a lógica indutiva e as pesquisas são determinadas por estratégias dirigidas à experimentação. A dinâmica do campo científica é caracterizada pelo descobrimento e a explicação. Nestas condições a ciência não explica as leis íntimas do objeto sob estudo, as quais continuam desconhecidas, observando este, (o objeto) como uma caixa preta. Como exemplo disto temos a química pré-Lavoisier e a eletricidade pré-Franklin.

O desenvolvimento dos campos de conhecimento a partir da fase exploratória leva em algum momento à elaboração de teorias maduras com três aspectos fundamentais.

Em primeiro lugar, a existência de teorias baseadas em teorias mais gerais. Segundo, o alcance do paradigma é estendido até abranger objetos de pesquisa anteriormente não cobertos. Em terceiro lugar, o paradigma é especialmente aplicado a grupos de fenômenos que são estabelecidos como pertencentes ao tipo de soluções oferecidas pelo paradigma. Este último aspecto é importante para o desenvolvimento posterior de disciplinas pós-paradigmáticas e aproxima-se ao conceito de Kuhn de *ciência normal* (Böhme, G., et alii, 1983).

O período onde a ciência não contradiz o paradigma que a contém, dá a ela o caráter de ciência normal. Quando o paradigma cai em desgraça, quando ele está sob severa ameaça, as regras normais caem e os cientistas procuram novas estruturas, existindo a *la Kuhn*, períodos de ruptura revolucionária e períodos de ciência normal onde os novos paradigmas são consolidados.

O conceito de funcionalização leva a um aspecto diferente do desenvolvimento da ciência. Descreve a mudança de direção da pesquisa a partir das teorias baseadas na interrelação causal e da identificação de correlações empíricas reprodutíveis. A característica de uma disciplina *funcionalizada* é tratar corretamente dos problemas de sua área objeto, de prever certas consequências a partir de regras empíricas estabelecidas. Os primeiros estágios de aparecimento das operações unitárias (ou das técnicas de processo na engenharia química) pode ser esclarecido pelo conceito de funcionalização (Bucholz, K., 1979, p. 33).

4 - EXTRAPOLAÇÃO E PERÍGOS

4.1 - INDÚSTRIA QUÍMICA, PERIGOS E EXTRAPOLAÇÃO

Nas últimas décadas aconteceram grandes acidentes na indústria química, os quais provocaram uma forte impressão na opinião pública mundial.

Pode-se entender por grande acidente, qualquer evento catastrófico que resulta de atividades naturais ou industriais é que causa impactos sociais e econômicos de importância, devido a suas consequências para a população, economia e meio ambiente. Estes são acontecimentos pouco prováveis, porém acompanhados de sérias consequências. A imagem pública da indústria química é em alguma medida negativa, e até tenebrosa, devido a alguns incidentes tristemente famosos: Bhopal, Seveso, Flixborough.

ANO	LOCAL	SUBSTÂNCIA ENVOLVIDA	FATALIDADES Nº DE MORTOS
1974	Flixborough Inglaterra	Ciclohexano	28
1976	Seveso Italia	Dioxina	
1978	Los Alfaques Espanha	Propileno	215
1984	Cidade do México	LPG	500
1984	Bhopal Índia	Metilsocianato	2500

Estes e outros acidentes vêm provocando um efeito coletivo de rejeição à indústria química a qual é acusada de estar num processo de concentração de riscos que de alguma forma alienam crescentemente o espaço público.

A verdade é que os produtos químicos forma e ainda são responsáveis pela flexibilização e crescimento do padrão de consumo da sociedade além de permitir lucratividade crescente as empresas inovadoras. Apesar dos crescentes investimentos e P&D, existem processos tecnologicamente avançados que são levados à escala produtiva (extrapolados) com insuficiente domínio técnico. Este tipo de projeto, quando não adequadamente revisado antes de sua implantação, exige grandes esforços posteriores na redução e controle dos riscos do processo. Com relação aos produtos que dia-a-dia saem dos laboratórios de desenvolvimento, são crescentemente mais perigosos a saúde humana e ao ambiente em geral, exigindo longos estudos antes do seu lançamento no mercado.

Paralelamente a esse processo de procura de maior rentabilidade, e o aparecimento de novos riscos caracterizados pelo processo inovativo há o de tomada de consciência por parte da sociedade

sobre os perigos potenciais das atividades químicas industriais. Em razão disto é cobrada via organismos governamentais, a responsabilidades das empresas pela produção, transporte, estocagem e uso apropriado dos produtos químicos. A resposta por parte das empresas de porte foi caracterizada por um movimento de investimento em segurança em todos os aspectos. Após Bhopal houve um posicionamento *concreto* sobre a real importância da segurança de processos e o desenvolvimento e aplicação de técnicas de análise de perigos e riscos industriais. A questão passou não só pela contenção dos riscos mas fundamentalmente pela redução dos perigos até níveis aceitáveis.

As preocupações após Bhopal não foram somente um mero ato de consciência. O acidente provocou não menos de 2.500 mortes e praticamente sucateou a Union Carbide. A partir daí houve movimentos que começaram a aconselhar a não compra de produtos de empresas que estivessem envolvidas em incidentes que ameacem a vida de pessoas e o meio ambiente em geral.

O que fica na memória técnica da comunidade da engenharia química é que o *simples vazamento de um gás* provocou um grande número de mortes e o sucateamento de uma grande empresa. A resposta na comunidade ao acidente de Bhopal foi tal, que, em novembro de 1985, foi aprovado em Nova Dehli, na 10ª Assembléia Geral da Conferência Mundial das Organizações de Engenheiros, um Código de Ética Ambiental para Engenheiros. A seguir transcrevemos seu texto central.

Com a clara convicção que a permanência e o prazer do homem em seu planeta dependerá do cuidado e proteção que exerça sobre o ambiente, se estabelecem os seguintes princípios para todos os engenheiros:

CODIGO DE ÉTICA AMBIENTAL PARA ENGENHEIROS

1. Ponha toda sua capacidade, coragem e entusiasmo para obter, além de resultados tecnicamente satisfatórios, uma boa contribuição para todos os homens, seja em espaços abertos, como no interior de edifícios.
2. Esforce-se para conseguir os objetivos benéficos de seu trabalho com o menor consumo possível de matérias primas e energia e com a menor produção de resíduos.
3. Discuta em particular as conseqüências de suas propostas e ações, diretas ou indiretas, imediatas ou a longo prazo, sobre a saúde humana, e eqüidade e estabilidade social e os sistemas de valores locais ou regionais.
4. Estude cuidadosamente o ambiente que será afetado, avalie os impactos e danos que possam sobreviver na estrutura dinâmica e estética dos ecossistemas afetados, urbanizados ou naturais, incluindo o aspecto sócio-econômico e selecione a melhor opção para contribuir para um desenvolvimento ambiental saudável e sustentável.
5. Tenha constantemente presente que os princípios de interdependência ecossistemática diversidade sustentação recuperação de recursos e harmonia interrelacional, formam as bases da continuidade de nossa existência e que cada uma dessas bases coloca um muro de defesa que não deve ser transposto.
6. Promova um claro entendimento das ações requeridas para melhorar, conservar e restaurar o ambiente que possa vir a ser perturbado e acrescente as suas propostas.
7. Recuse todas classe de pedidos de trabalhos que impliquem em danos para o ser humano, ambiente e a natureza e negocie a melhor solução social e politicamente possível.

Recorde que a guerra, a miséria e a ignorância, além dos desastres naturais e a contaminação e destruição dos recursos induzidos pela atividade humana, são as principais causas da progressiva deterioração do ambiente, e que você, como um profissional de Engenharia profundamente comprometido com a promoção do desenvolvimento, deve usar seu talento, conhecimento e imaginação para ajudar a sociedade a eliminar os males e melhorar a qualidade de vida de todos os homens.

Nova Dehli, novembro de 1985.

O documento é uma rara junção de consciência e de delimitação de responsabilidade dos engenheiros frente a trabalhos que impliquem riscos de quaisquer tipos. Isto é também uma intenção explícita de mostrar a dimensão social do risco e de que as soluções técnicas devem ser social e politicamente negociadas visando claramente os níveis de aceitabilidade do risco (Douglas, M., 1986)⁵⁾.

O risco tem um custo econômico e social que não pode ser traduzido linearmente em termos financeiros devido a contingência da perda de vidas humanas e da destruição e degradação do meio ambiente. O crescimento técnico e econômico é necessário, porém a um custo aceitável.

O conceito técnico de aceitabilidade do risco foi elaborado inicialmente na Inglaterra por engenheiros da ICI (Imperial Chemical Industries). Existem três trabalhos que estabeleceram as bases sobre as quais foram elaborados os conceitos de risco individual, risco público e critérios de aceitabilidade de riscos (Gibson, S.B., 1976, p. 59-62); (Bowen, J.H., 1976, p. 63-67); (Pochin, E.E., 1975, p. 184-190).

A extrapolação de processos é a responsável pela extrapolação também da escala de riscos de laboratório ou piloto para uma escala de produção industrial. É claro que o domínio técnico da extrapolação de processos sob a dimensão dos perigos potenciais destes, tem uma relação intrínseca com os riscos que as futuras unidades industriais poderão oferecer. Mas o problema é mais complicado:

Se analisarmos sob a ótica técnica poderemos concluir que todos os acidentes que ocorrem estão em sua maioria dentro dos limites de probabilidade de aceitabilidade do risco. A única *desgraça* é que se a probabilidade de acontecimento de um evento catastrófico dá-se cada um milhão de anos numa certa unidade industrial, ele pode acontecer no primeiro dia de operação da unidade e não um milhão de anos depois. Eventos quaisquer que sejam, deveriam acontecer com menor grau de

probabilidade se fossem diminuídas as frequências de falha dos componentes e se tivesse um maior conhecimento sobre a frequência de falha humana e sobre os fatores ergonômicos do trabalho. Com maior *expertise* sobre o comportamento do processo em escala industrial pode-se diminuir a probabilidade de ocorrência de catástrofes. Aqui fica claro que aumentar de escala um determinado processo industrial envolve também importantes questões relacionadas com projeto de uma instalação segura.

Do ponto de vista do trabalho industrial, a extrapolação de um processo deve ser suficientemente segura e à prova de falhas humanas. Na unidade industrial é que tem lugar a relação entre trabalho prescrito⁶⁾ e o trabalho real⁷⁾. E o local onde a perfeição dos procedimentos na escala piloto ficam transformadas em instruções de operação industrial e expostas as mediações e aos condicionantes sociológicos do trabalho. A instalação industrial quando *sofre* sua extrapolação a partir da escala piloto deve incluir as considerações de organização do trabalho e os fatores ergonômicos relacionados com os riscos industriais.

4.2 - INOVAÇÃO E ESCALA DE PRODUÇÃO

Interessam do ponto de vista da extrapolação dois aspectos. Em primeiro lugar o mecanismo pelo qual opera a criação de valor e as razões que fazem do capitalismo um modo de produção que *tende* ao progresso técnico, à inovação. Em segundo lugar a necessidade de produção em larga escala, já que é neste ponto que está a importância da extrapolação: na definição de grandes escalas de produção a partir de dados de desenvolvimento piloto ou de laboratório.

Por razões de objetivo do presente trabalho, não será discutido o processo histórico que levou ao desenvolvimento do modo de produção capitalista. Interessa sim, discutir o mecanismo de aumento da

extração de excedente. A extração da mais valia absoluta é limitada pelas condições físicas dos trabalhadores, pelo limite de físico da jornada de trabalho. A outra via é o aumento da produtividade, (via extrapolação da mais-valia relativa).

A primeira forma que o capitalista utilizou para a obtenção do excedente foi contratar artesãos e fazê-los trabalhar lado a lado em tarefas específicas, (cooperação simples) levando assim a diminuição dos tempos mortos mediante uma divisão social do trabalho. Isso não só aumentou a produtividade, como abriu caminho para a introdução e a incorporação consciente da ciência e da tecnologia. O aumento do excedente extraído passou a se dar, então, pelo aumento da extração de mais-valia relativa. A mais-valia relativa é dada pela diminuição do tempo de trabalho socialmente necessário para a produção de uma mercadoria, e a tendência de queda do valor de custo das mercadorias abaixo do valor social de produção das mesmas, (Marx, 1890). É essa a tendência que opera pela concorrência entre capitalistase que obriga à geração do progresso técnico, aumentando o controle sobre a força de trabalho, incorporando o conhecimento científico e tecnológico na maquinária. A tendência do capital a extrair mais valia relativa numa busca incessante por métodos científicos, tecnológicos e organizacionais mais eficientes, de aumento da produtividade, visando a competição de mercado, constitui o caráter dinâmico e progressivo do capitalismo, enfim da valorização de capital . A análise do caráter progressivo do capitalismo constitui uma teoria (a primeira) do progresso técnico. A taxa de lucro cai não por explorar-se menos o trabalhador e sim por empregar-se menos trabalho de relação ao capital aplicado, (porém a queda da taxa de lucro coincide com o próprio aumento da massa de lucro). A contradição fundamental que leva ao desenvolvimento inovativo é que, sendo o trabalho o único a criar valor excedente para o crescimento do capital, este pelo mecanismo de concorrência, coloca como redundante o próprio trabalho no limite da redução da mão de obra empregada por unidade de produto. Assim a inovação é um mecanismo endógeno causado pelo desequilíbrio que a concorrência gera ao provocar a redução da mão de obra empregada a

medida que a massa de lucro cresce.

A necessidade de transformar trabalho e capital em mercadorias para se transformar em mais capital, numa sociedade onde todos os capitais procuram o mesmo fim independente uns dos outros, faz com que , a subsistência do modo de produção esteja subordinada à existência da inovação.

Foi mostrada a necessidade de inovação. Ela é quem assegura a subsistência da competitividade capitalista. Porém a inovação seja a nível de produtos ou de processos, não é dotada per-se de espacialidade. Levá-la a uma escala que garanta a competitividade para o seu consumo, significa atingir uma escala de produção que permita produzir um excedente que garanta a reprodução ampliada do capital. Para a produção em escala ampliada é necessário transformar procedimentos de inovação em instruções de operação e extrapolar as condições de trabalho e adequar o projeto de equipamentos para a escala ampliada, a partir de dados da escala piloto. A produção em larga escala foi historicamente, a partir da produção industrial a forma adotada para sobrevivência de modelos tecnológicos e produtivos. Quando se fala em grandes escalas de produção são supostos domínios tecnológicos que garantam um seguro retorno dos investimentos. A economia de escala é muitas vezes a forma de se assegurar processos competitivos, mas prevendo nas escalas piloto ou protótipo aquilo que pode acontecer na escala industrial. Isto é obtido com o domínio do processo inovativo, incluindo a extrapolação de processos, como processo de trabalho que une a escala piloto com a escala industrial.

5. - SOCIOLOGIA DA INOVAÇÃO E PESQUISA INDUSTRIAL

5.1 QUADRO ANALÍTICO ATUAL

Os laboratórios de pesquisas industrial, são os *loci* de criação de novos processos e produtos, com a utilização de metodologia e rotinas científicas e tecnológicas. O desenvolvimento de um projeto

dado é um edifício técnico, porém o modo de construção, sua arquitetura, obedece as regras de domínio social e político.

Os produtos finais de pesquisa e desenvolvimento são comercializados no mercado tendo, em alguns casos, profundos impactos sobre a sociedade. Pela razão fundamental de que estes impactos afetam a vida social e cultural (pública) das nações, é importante conhecer os processos de formação desses objetos tecnológicos e as possibilidades de se aumentar a influência pública e popular esses processos produtivos.

Por ser a extrapolação a última etapa de processo de desenvolvimento de um projeto, o estudo da mesma implica em analisar qual foi a construção técnica, social e política do objeto desenvolvido, sendo a primeira uma consequência das duas últimas.

A influência pública sobre os processos de formação de novas técnicas tem sido estudada em dois sentidos:

- * *Estudando o controle público das técnicas via governo;*
- * *Estudando os processos de formação social das técnicas.*

No primeiro sentido, os estudos concentraram-se nas atividades regulares das agências de governo, normalmente *a posteriori* do desenvolvimento de uma nova técnica. A segunda considera que podem ser escolhidos desde cedo os caminhos a serem seguidos por um dado processo inovativo. Estas escolhas são influenciadas por interesses econômicos e políticos dos autores envolvidos.

Nos dois tipos de abordagem, o papel da pesquisa científica e tecnológica fica pouco exposto. A construção de um objeto tecnológico mais parece um modelo criado por determinações técnicas e econômicas do que resultado de negociações onde também entram fatores sociais e políticos.

Devido a que, no fundamental, o desenvolvimento de um dado processo produtivo e/ou produto dá-se no laboratório de pesquisa industrial, é relevante estudar o perfil deste:

- * Nos laboratórios industriais são tomadas decisões importantes e são feitas escolhas sobre futuras inovações;
- * Nesse locus, os caminhos da inovação são influenciados não só por interesses corporativos, mas também indiretamente, por interesses sociais e políticos.

No ano de 1979, Latour e Woolgar demonstraram no seu trabalho *La vie de Laboratoire* a forma pela qual os fatos científicos são construídos e negociados pelos cientistas. Em 1983, Collins, argumentou sobre caráter contextual dos fatos científicos e os mecanismos sociais de sua construção. Apesar dos avanços, em termos da exogenização dos fatos científicos ainda conserva-se nestas teorias o internalismo científico, onde os cientista estão de alguma forma separados dos seus contextos sociais e políticos. Os cientistas argumentam com os próprios cientistas, mas raramente como autores sociais e políticos. No mesmo ano de 1983, Knorr-Cetina, introduziu o conceito de arenas trans-epistêmicas de pesquisa, nas quais movimentam-se os cientistas. Porém, ainda não fica clara a influência dos fatores econômicos e políticos na construção dos fatos científicos (Vergragt, P.J., 1988, p. 483).

Já com referência explícita à tecnologia Bijker et alii, estudaram como os objetos tecnológicos são construídos e elaboraram uma abordagem nova denominada SCOT (Social Construction of Technology). Segundo está teoria, os artefatos tecnológicos não são inventados, mas sim desenvolvidos através de um processo social no qual grupos sociais influenciam o desenvolvimento subsequente de protótipos . Porém a SCOT opõe-se parcialmente ao determinismo tecnológico, pois apesar de estabelecer uma construção social dos fatos científicos, não é uma

concepção adequada da estrutura social, dos grupos sociais, das instituições, suas necessidades e interesses e dos mecanismos de acesso as esferas de decisão (Russel, S., 1984, p. 341).

Apesar disso, a SCOT significa um importante avanço epistemológico na compreensão do processo de inovação. Uma importante crítica foi feita por Vergragt em 1989, referida ao fato de que o processo inovativo é usualmente colocado como *não problemático*. Segundo os atores da SCOT, uma vez identificado e colocado o problema, ele é resolvido por um grupo social mediante a criação de um dado objeto tecnológico. Isto presuppõe no caso da pesquisa industrial a existência de uma base de conhecimento na firma, sendo que:

O conhecimento e a essência do processo inovativo, ele não pode ser colocado como não problemático, pois este é gerado e atravessado por interesses em relação à certas e preferidas soluções" (Vergragt, 1989).

Os processos de inovação tem sido estudados também por outras escolas. Na escola de *research management*, a questão tem sido como as pesquisas podem ser otimizadas em função das necessidades corporativas. Dentro da literatura mais do tipo econômica, tem sido estudados fatores que levam a sucessos ou falhas nas inovações. As inovações são analisadas em termos de *science push* e *market pull* (Freeman, 1975).

Dosi introduziu o conceito de paradigma tecnológico, sendo que a realização de um dado paradigma da-se dentro de uma trajetória tecnológica, influenciada pelo *meio ambiente específico de seleção*. Esta teoria abre possibilidades para incorporar as influências sociais sobre a geração de tecnologias, seu melhoramento e superação, porém não escapa completamente ao determinismo tecnológico. O construto de Dosi não foi realizado a partir de mecanismos sociais e políticos de estruturação do conhecimento e sim pela concepção biológica da influência do meio ambiente sobre um dado organismo e suas mudanças internas. Não fica claro como o meio ambiente de seleção pode interagir com uma dada trajetória tecnológica. A influência social é possível

dentro de um certo limite. Não está claro que a influência social possa forçar a mudança de paradigma. A noção de trajetória implica em que pequenas adaptações são possíveis, mas a linha principal de desenvolvimento é mantida e determinada (Vergragt, 1989).

Outra teoria, que diverge bastante das já brevemente comentadas, é de atores e redes, de Callon e Latour. Eles escrevem que as atividades científicas e tecnológicas podem ser explicadas pelas lutas entre diferentes atores. Cada ator tem sua definição particular do problema em desenvolvimento e luta para impor suas definições para o problema e para obter a legitimação de sua definição frente a outros atores. De acordo com Callon, é possível identificar diferentes atores, com as correspondentes diferenças na definição de problemas, mas simultaneamente define o mesmo como uma função de problematização de uma certa situação. Assim, as definições de atores e problemas, em algum sentido define os outros atores. Esta construção é mostrada didaticamente por Callon e Latour no jogo do *Scrabble*, no qual a construção social de palavras pelos participantes vai sendo continuamente limitada pela introdução de novas letras no tabuleiro por cada um deles, obedecendo em princípio as regras e planos de cada um, porém sujeitas a mudanças contínuas devido as interferências dos outros participantes (Callon, M., Latour, B., 1986, p. 13-25). Por um lado, isto é interessante, pois permite efetuar uma construção não determinística do objeto final. Porém, não fica clara a negociação entre os atores, ficando esta ainda limitada pela análise isolada do problema por cada um deles.

Na pesquisa industrial os autores óbvios são cientistas, engenheiros e técnicos. Mas ao contrário dos laboratórios de pesquisa acadêmica, onde fica difícil a identificação de outros atores, na pesquisa industrial pode-se encontrar uma variedade destes. Estes atores são envolvidos com gerenciamento dos serviços de pesquisa; execução da pesquisa, os departamentos de manutenção, vendas, comercialização, treinamento, as diretorias das divisões clientes da pesquisa (ou a diretoria da empresa) e muito fundamentalmente aquele grupo que constitui a comunidade criativa que efetua o desenvolvimento.

O produto final é o resultado das negociações sociais e políticas:

O produto final do desenvolvimento é um produto da negociação entre atores, de relações de domínio e poder entre eles, cujo cenário principal é o laboratório de pesquisa industrial. O produto final é consequência destas relações sociais e políticas (Vergragt, 1988).

5.2 A CONSTRUÇÃO DO OBJETO DA EXTRAPOLAÇÃO

No processo inovativo industrial são feitas escolhas dos caminhos a serem seguidos na pesquisa. Estas são realizadas segundo dual hipóteses gerais:

1. *Podem ser feitas opções entre processos de P&D, em contraste com o determinismo tecnológico.*
2. *O resultado desta escolha reflete interrelações de interesses e poder dos atores envolvidos.*

Agora, se há um processo de escolha, deve ser possível identificar as diferentes opções, e os períodos onde as decisões são tomadas. Se essas escolhas refletem interesses e relações de poder, deverá ser possível identificar os atores numa posição de influência sobre os responsáveis pelas decisões. Sob este *constructo teórico*, uma dada linha de pesquisa industrial é uma sucessão de decisões marcantes entre opções. Entre os períodos de decisão existem períodos de continuidade durante os quais os objetivos técnicos-econômicos e os problemas dos projetos não mudam. Após as decisões entre as alternativas, cria-se, um nicho de acordos, seguindo normas científicas, procedimentos e padrões de comportamento. (Aldrich, H.E., 1979). Esta substantivação é utilizada também na literatura econômica para descrever combinações especiais entre produto e mercado.

Um nicho é determinado não só pelas relações dos diferentes atores do processo de trabalho desenvolvido. Existem outros mecanismos que determinam mudanças organizacionais e hierárquicas dentro de uma empresa e que influenciam o nicho. As mudanças econômicas, tais como , preços de mercado, estrutura de mercado em mudança, atividades dos concorrentes, entre outras, e as mudanças relacionada com o Estado e seus mecanismos reguladores, tem forte influência na definição dos problemas dos atores. As mudanças internas dentro de uma empresa relacionadas com a estratégia, tal como mudanças dos quadros de direção, influenciam fortemente os nichos de acordos, reposicionando estes. Isto pode ser observado facilmente no estudo de caso⁴⁾.

O sucesso é a solução para o problema dominante da pesquisa obtido tecnicamente, mas, por um processo de negociação. Se a solução é significava em relação ao problema dominante, levará à uma nova fase no processo de inovação. O fracasso cria um novo problema a ser resolvido por negociação. Mas um conjunto dessas negociações podem transformar o fracasso inicial num êxito. A mudança e a redefinição dos atores nos projetos de P&D conduzem à redefinição dos problemas dos atores e suas relações. As mudanças de pessoas, a reformulação de estratégias e o reordenamento de prioridades são considerados também eventos críticos para as pesquisas. Mais uma vez aqui é importante a definição e redefinição dos atores.

Um evento crítico e assim considerado porque é percebido como crítico pelos atores e é legitimado como tal frente aos elementos decisórios dos caminhos a serem seguidos pelo projeto em questão (Vergragt, 1989).

O processo de decisão torna-se, assim, um processo altamente subjetivo e contingente. Os atores negociam e tomam decisões na base de interesses, possibilidades e obrigações. O determinismo tecnológico é evitado nesta abordagem devido ao fato de que é possível escolher entre

diferentes possibilidades. O determinismo econômico parece não acontecer a priori pois as possibilidades e as forças econômicas estão num jogo de equilíbrio e são percebidas antes do processo decisório. Isto não significa que as pressões econômicas e tecnológicas não existam num sentido determinístico ou não sejam importantes. O que deve ficar claro é que as condições objetivas finais são alcançadas por um processo altamente subjetivo, social e politicamente determinado.

6. - AS PATENTES E A EXTRAPOLAÇÃO

Uma patente é um documento legal que confirma o privilégio exclusivo de se empreender atividades produtivas, vender ou importar produtos ou processos devidamente especificados sob certos requerimentos legais.

O princípio econômico das patentes e a concessão de monopólios. As patentes que concedem monopólio de uso criam escassez mediante a limitação da disponibilidade de invenções, apesar de que uma invenção é por natureza uma entidade não exaurível em termos de tempo e vezes de uso (Vaitsos, C.V., 1973, p. 239).

As invenções é colocado assim um preço não pela sua escassez mas para torná-las escassas. Uma patente diminui o uso possível de uma inovação com a intenção de gerar uma renda econômica. Se considerarmos que as patentes constituem um incentivo necessário à atividade inventiva e inovadora é bom perguntar: patentes outorgadas por quem para à atividade inventiva de quem?

Quando um país não reconhece patentes e tem fortes políticas de desenvolvimento tecnológico, as patentes podem ser utilizadas como um incentivo à atividade inovadora. Aqui entram em jogo todos os tipos de *learning* descritos pelos economistas. Pelo fato de fazer e reproduzir, pelo uso, pela adaptação, etc., da-se uma importante capacitação tecnológica. Mesmo com uma política de reconhecimento setorial de patentes, pela compra, uso ou adaptação, seria possível,

sempre que houvesse com uma forte política de desenvolvimento tecnológico, utilizar em benefício do país o estímulo à atividade inventiva.

O argumento de Vaitsos no sentido de que uma patente diminui o uso possível de uma inovação, com a intenção de gerar uma renda econômica, é verdadeira. Mas não se pode ignorar a natureza estratégica do mercado internacional de patentes e o fato da competitividade nos mercados hoje, ser dada pela competitividade tecnológica, a qual está ancorado no sistema internacional de patentes e do qual é necessário participar.

O argumento de que a existência de um sistema de patentes serve aos países em desenvolvimento como uma das condições necessárias para investimentos estrangeiros carece segundo Vaitsos de comprovação empírica.

As crescentes pesquisas sobre os complexos motivos de investimentos estrangeiros direto indicam que a causa-chave dos investimentos e nos países em via de desenvolvimento é uma estratégia defensiva para manter mercados antes conquistados mediante exportações, posteriormente ameaçados por competidores e/ou por estratégias de substituição de importações daqueles países. Assim, as patentes, longe de proporcionar um estímulo ao investimento estrangeiro, parecem constituir um fator crítico que obstaculiza os investimentos. Existe alguma forma mais formidável de se evitar as pressões ameaçantes da competitividade que levam aos investimentos, que o privilégio monopólico oferecido ao dono da patente? (Vaitsos, C.V., 1973).

As patentes são hoje a forma mais elaborada de competição de mercado. A capacidade antecipada de criar novos processos de produção, produtos, métodos, etc., dá assim o monopólio. O detentor da patente é o único que pode produzir ou importar os produtos patenteados no país. A forma de deter a competição em outros países e comprar as patentes e não explorá-las (Penrose, E.T., 1951, p. 107). O motivo é, por um lado conservar mercados de importação seguros e por outro obstaculizar a competitividade de produtos similares que não são nem produzidos, nem importados. As patentes constituem-se como ferramenta de

transnacionalização de capitais. A transferência de tecnologia tem lugar não na patente mesma, mas na existência de condições que induzem as atividades produtivas que incorporam conhecimentos originados noutra parte.

Existem duas posições opostas sobre a relação entre as patentes e a transferência de tecnologia. Por um lado estão os que apontam que a proteção proporcionada pelo sistema de patentes oferece o melhor estímulo para o intercâmbio de conhecimentos e o benefício mútuo entre os proprietários as patentes participantes. Isto segundo afirmam, é verdade sob o sistema de licenças cruzadas. Por outro lado estão os que afirmam que o intercâmbio de tecnologia é usado como uma racionalização para se atingir licenças cruzadas, cujos objetivos repousam sobre a segmentação do mercado e o controle monopólico.

Devem ficar claros outros dois propósitos das patentes e licenças nos países em desenvolvimento, distintos daqueles do intercâmbio de tecnologia. As patentes mediante o seu monopólio exclusivo num mercado nacional servem como um meio de obstaculizar a importação potencial de tecnologia relacionada com os produtos patenteados. Em muitas oportunidades retardam seriamente as possibilidades para atividades nacionais de P&D nos países em desenvolvimento. A infraestrutura tecnológica que pode criar-se imitando, absorvendo e adotando tecnologia estrangeira, é restringida pelas patentes.

As patentes e suas licenças são um dos principais fatores para a *falta de diversidade* por parte dos compradores de tecnologia. Ao conceder uma licença é comum que o proprietário da patente a vincule à forma de fornecimento de capital, de produtos intermediários e de bens de capital. Assim, este tipo de pacote explica a coexistência de contratos de tecnologia e licenças. O sistema internacional de patentes, atua como uma forte arma de controle de mercados, de taxas de lucro e de divisão internacional de trabalho.

O desenvolvimento da capacidade para fazer frente a estes problemas vai um pouco além da capacidade dos países em

desenvolvimento. Os programas formais de P&D pouco indicam quando não é considerada a capacidade inventiva não formalizada mediante instituições. Esta é raramente avaliada.

Existe sobre as patentes um certo valor fetichista daquilo que realmente é patenteado. Não é exatamente o objeto de invento, produto ou processo de produção que é protegido, mas o fato de como esse objeto pode ser construído. O que realmente não pode ser publicado é o projeto de invento, e as condições de processo numa escala ampliada, ou o projeto numa escala ampliada. Deve-se destacar que o que uma patente realmente protege é a condição extrapolada final de um determinado processo de produção. De fato, a análise que faremos no estudo de caso (Capítulo III) não pode ser generalizado para todo tipo de patente e de projeto tecnológico, mas é um forte indício da importância da extrapolação de processos para o sistema de patentes⁹⁾.

7. - A EXTRAPOLAÇÃO COMO PROCESSO DE TRABALHO

A extrapolação é o objetivo da presente pesquisa. Devido a que a extrapolação é a última fase do processo inovativo, ela é marcada pelas decisões e caminhos adotados durante todo o processo de P&D.

Desde a própria decisão inicial de se investir no processo de desenvolvimento a extrapolação é limitada pela escolha dos possíveis equipamentos industriais a utilizar, pelo nível de automação previsível da futura unidade, etc. As limitações aparecem sob a forma de uma heurística negativa, sendo expressas por aqueles caminhos que a *princípio* não poderão ser percorridos e/ou estudados sob pena de inviabilizar financeiramente o projeto.

Para satisfazer não só as definições técnicas da extrapolação, mas também a natureza contingente do processo inovativo da qual ela é o objetivo final, é necessário deter-se na observação do processo de trabalho desde à idéia inicial até o funcionamento da unidade industrial. O processo é uma espécie de *memória* onde fica

gravado o processo criativo desde a idéia inicial (e suas limitações), a mecânica própria de atuação dos atores sociais envolvidos, passando pela invenção, pela inovação para se chegar à extrapolação.

Uma definição que permite satisfazer as exigências apontadas, deve ser tal que se enquadre o processo de trabalho pelo qual, a partir de uma idéia inicial chega-se, após um processo de desenvolvimento, a uma planta química industrial. Apesar de que a extrapolação é a etapa final do processo de desenvolvimento tecnológico, ela não pode ser considerada somente isso. Desde o início do desenvolvimento pensa-se em termos de uma unidade produtiva final. É, portanto, importante revisar todo o processo de inovação tecnológica, já que não é somente no final do desenvolvimento que pensa-se em termos de escala industrial. Durante todo o processo são tomadas decisões pensando-se no objeto a ser extrapolado.

A definição que adota-se daqui em diante para extrapolação é a seguinte:

A extrapolação é o processo de trabalho que permite passar de uma escala de laboratório ou piloto de desenvolvimento, para uma escala de produção industrial. Este processo é a transição de procedimentos à processo, significando uma série de instruções que levam à fabricação.

A escala piloto de desenvolvimento pode não ser caracterizada exatamente por uma unidade piloto. Pode ser o próprio estudo de bancada de laboratório, como nos casos em que, pelo conhecimento do assunto e das operações unitárias sob estudo, e *pulada* a etapa piloto. Neste caso à especificação dos equipamentos da unidade industrial e as instruções de operação da unidade são obtidas a partir de dados de processo levantados na etapa de pesquisa laboratorial (Schuch, G.T., 1969).

Este conceito de extrapolação não é discordante do conceito utilizado em toxicologia. Assim no *Industrial Hygiene and Toxicology de Patty*, discutido o conceito de extrapolação do ponto de vista da toxicologia.

Define citando o Webster Dictionary, o conceito de extrapolar como:

Projetar, estender, ou expandir dados conhecidos ou experiências dentro de uma área conhecida ou experimentada para se chegar a um conhecimento usualmente conjecturado da área desconhecida, por inferências baseadas sobre princípios de continuidade, correspondência ou outro paralelismo entre esta e aquela que é conhecida... Os jovens cientistas são e foram cuidadosos no fato de que a extrapolação é um risco de procedimento, e nunca deveria ser levado além da base de dados observada. Deve-se estar ciente que no campo de toxicologia, algumas extrapolações são necessárias, pois é desconhecido, o nível de dosagem inofensiva para o ser humano. Por outro lado, não existem caminhos éticos e legais de utilizar explicitamente seres humanos como objetivos de investigação de potencial tóxico de um novo produto químico (Zapp, Jr., J.A., 1977, p. 567).

Para explicar melhor, devemos dizer que ao extrapolar dados de toxicidade de uma substância química estão sendo assumidos dois tipos de extrapolação. Primeiro, a extrapolação de resultados obtidos num teste com espécies animais para o ser humano. Segundo, a extrapolação de uma dosagem sem efeito obtida sobre um número relativamente pequeno de espécies animais para um número muito maior de seres humanos que deverão ser expostos ao seu uso.

Quando é efetuada a extrapolação de um processo de produção, é feita implicitamente a extrapolação dos dados toxicológicos das substâncias químicas envolvidas no mesmo com relação aos perigos oferecidos pela presença destas na unidade de produção. Assim, quando é efetuada a análise de risco de um dado empreendimento e na hora de se efetuar o estudo de consequências e vulnerabilidade por efeito de prováveis eventos perigosos causados pela presença do dito

empreendimento, é usual que sejam utilizados dados toxicológicos extrapolados. A extrapolação de dados toxicológicos de animais para o homem, leva a incertezas que se apresentam de acordo com a distribuição de idades da população, sua composição e o estado geral de saúde da mesma. Este relato mostra como o conceito de extrapolação e suas contingências são importantes para o desenvolvimento tecnológico.

Finalizando, já sobre a questão etimológica, o Dicionário Aurelio, de Aurelio Buarque de Holanda, define o termo extrapolação como:

Ir além de; ultrapassar, exceder (Buarque de Holanda, 1975)

da também uma acepção matemática do termo extrapolação:

Qualquer processo com o que se infere o comportamento de uma função fora de um intervalo, mediante o seu comportamento dentro desse intervalo.

Extrapolar não é somente aumentar de escala do ponto de vista geométrico, existindo problemas não só técnicos e econômicos *stricto sensu*, mas também outros de origem sociológica e relacionados com o próprio processo de trabalho, os quais vão além da simples multiplicação escalar.

A extrapolação corresponde à conexão entre o desenvolvimento científico-tecnológico e o econômico.

Esta etapa é a de maior risco financeiro no processo de desenvolvimento e implantação tecnológico industrial. Apesar da importância crucial que a extrapolação possui para o desenvolvimento tecnológico, não existe, por assim dizer, uma *especialidade da extrapolação*. Devido ao seu forte caráter empírico e ao fato do conhecimento adquirido ser apropriado de forma privada (é ali onde

acumula-se todo o *know how* industrial), existem poucas publicações de relevância sobre o assunto.

Todos os processos produtivos implantados são, na sua última etapa de desenvolvimento, detalhados segundo invariantes de extrapolação e equações de escala. Com algumas operações unitárias não há maiores problemas (ex: destilação, filtração), porém com outras (as que envolvem agitação) a questão é complicada dado que não pode ser descartado um processo empírico para seu posterior escalamento dentro de determinados limites.

A diversificação dos mercados e a tendência a obtenção de processos mais eficiente leva a crescentes e pesados investimentos em P&D, a riscos crescentes nos processos de produção e em consequência, a pesados investimentos com alto grau de risco ao se efetuar a extrapolação. A imprevisibilidade do funcionamento adequado de um processo é muitas vezes verificada na partida da unidade e reduzida (a *posteriori*) nas modificações necessárias para seu funcionamento de acordo com os critérios econômicos estabelecidos para o projeto.

Um fato importante a notar é que investimentos crescentes nas economias de escala, levam a dar maior importância a extrapolação. Porém, no caso da América Latina, existe uma série de processos onde foi efetuada uma operação de *scaling down*⁴⁾ a partir de uma escala maior para adaptá-la ao mercado de produtos e de bens de capital disponíveis para a produção. Isto significa enfrentar problemas adicionais não encontradas na escala, empresa e país de origem da tal tecnologia de produção. Todos estes problemas são resolvidos, na maioria das empresas, de forma paliativa, sem a explicitação adequada, devido à difícil identificação da área-problema no processo de trabalho. Os condicionantes da extrapolação aparentemente ultrapassam os próprios limites dados pela caixa preta tecnológica.

Há casos onde extrapolações um tanto incipientes é efetuadas com pouca *expertise* de engenharia chegam a inviabilizar grande

investimentos. Em outros, o escalamento de um processo não considerou a dimensão ambiental da produção implicando posteriormente grandes investimentos na contenção de riscos não-previstos no projeto. Normalmente o desenvolvimento doméstico de processos de tratamento de efluentes e resíduos industriais sem os correspondentes investimentos em P&D leva a um escalamento do processo de tratamento, que, na prática é raramente funcional. Estes ficam em alguns casos totalmente inoperantes, devido a não ter sido realizada uma análise sobre a variabilidade do processo de trabalho. Esta variabilidade comumente provoca modificações na qualidade dos resíduos e efluentes emitidos e as suas conseqüentes dificuldades de tratamento.

Existe ainda casos em que há uma verdadeira impossibilidade técnica de se estabelecer o que poderá acontecer na escala industrial com um processo desenvolvido na escala piloto ou de bancada. No desenvolvimento de bioprocessos com organismos engenheirados (ADN recombinante), torna-se importante além dos chamados invariantes de extrapolação das operações agitadas, o chamado invariante bioquímico. Muitos investimentos pesados em P&D efetuados no desenvolvimento de microorganismos com fins industriais, foram inutilizados - segundo o propósito inicial - devido ao fato de que o aumento da escala provoca mutações letais no material genético dos microorganismos. Isto inviabiliza o escalamento da produção como conseqüência dos fenômenos relacionados com a extrapolação.

NOTAS CAPÍTULO I

1. O conceito de planta-piloto é discutido no Capítulo II, seção 3, p. 70 deste trabalho. Para maiores referências Vide Lowenstein, J.G., 1985.

2. A similaridade entre sistemas constitui a base conceitual para o estudo da extrapolação. Vide Capítulo II, seção 4, p. 82.

3. A discussão das fases de desenvolvimento das disciplinas científicas do ponto de vista paradigmático foi efetuado por primeira vez por Kuhn. Ele distingue três fases fundamentais, tal como apontado no texto principal deste Capítulo: explorativa; paradigmática e pós-paradigmática (Kuhn, 1978). Explicaremos brevemente o que cada uma delas significa:

Fase exploratoria: a fase exploratoria de uma disciplina é compreendida pelo período de emergência das teorias que são a base de sua organização científica. Os métodos de trabalho são fundamentalmente indutivos e as pesquisas estão caracterizadas pela classificação de fenômenos e a experimentação. Um exemplo disto é hoje a biologia molecular e o campo da engenharia genética.

Fase paradigmática: a fase paradigmática é caracterizada pela construção da abordagem teórica que permite organizar esse campo do conhecimento, estabelecendo-se dessa forma um paradigma. Esta fase leva à maturidade mas um processo de questionamento interno da disciplina na procura da solidificação do paradigma. Um exemplo de ciência que situa-se na sua fase paradigmática, é a microeletrônica, apesar de que ainda conserva uma grande proporção de fase exploratoria.

Fase pós-paradigmática: a fase pós-paradigmática é caracterizada por teorias claramente formuladas sobre a disciplina considerada, e já não há mudanças espetaculares ou revolucionárias dos princípios básicos desta. Este é o caso da hidrodinâmica, onde, apesar das mudanças em outros campos da física, os conhecimentos elaborados permanecem sem

mudanças significativas e favorecendo à sua vez o desenvolvimento de outros campos do conhecimento.

4. Exemplos característicos são abordados no estudo de caso, Capítulo III.

5. Entende-se por **scaling-down** ou intrapolação, a operação inversa à extrapolação em termos de aumento de escala. A intrapolação serve como meio de estudar a redução de escalas de processos já extrapolados. Este é o caso de um processo de produção a ser implantado num país que por razões de tamanho de mercado requer uma planta menor que aquela instalada no país de origem. Um referência para scaling-down é dada na bibliografia. Vide Aronsson, G., 1987.

No estudo de caso, projeto SAC, foi estudada a extrapolação do processo e a intrapolação de uma condição de operação extrapolada na escala de 40 m³ para a escala de 60 litros com objetivos de otimização. Vide Capítulo III.

6. Existe por um lado o conceito de aceitabilidade do risco, mas por outro o conceito de construção social do risco, (Duclos, 1986). Vide também na bibliografia: Lagadec, P., 1981, *La Civilization du Risques*; e Lagadec, P., 1988, *Etats d'urgence*.

7. Para a compreensão do trabalho prescrito, vide na bibliografia: Marx, K., *El Capital, Capítulo VI*, inédito, edición 1971; Napolioni, C., 1972, Daniellou, F., et alii, 1983.

8. Para comentários dos conceitos sobre trabalho real e prescrito, vide nota 4 do Capítulo II.

9. No estudo de caso são apresentados os dados sobre extrapolação levantadas em 37 patentes publicadas e que foram parte do levantamento bibliográficos sobre o assunto sílica via anidrido carbônico (SAC). Vide Capítulo III, seção 4.12, p. 157.

CAPÍTULO II

PROCESSO DE TRABALHO DE INOVAÇÃO NA QUÍMICA INDUSTRIAL

PROCESSO DE INOVAÇÃO NA QUÍMICA INDUSTRIAL

O caminho a seguir a partir de uma idéia criativa até sua realização final é longo e cheio de contingências. Todo o processo é constantemente questionado sobre os caminhos a serem seguidos e pela redefinição dos problemas dominantes.

Estes são dominantes devido a que assim são colocados e considerados pelos atores que interagem no processo de inovação e decisão.

Os tipos de serviços a serem efetuados durante o processo de maturação do desenvolvimento, são diversos e, apesar de serem colocados como estritamente técnicos, estes são altamente sensíveis ao contorno social (Erdmann et alii, 1985, vol. 8, pp 65-70).

O desenvolvimento de um processo químico de produção industrial, a partir de uma idéia inicial, pode ser dividido em categorias de trabalho diferentes, que são contíguas, mas não necessariamente isoladas entre si.

Qualquer idéia inicial de desenvolvimento passa por um processo longo até se chegar a um processo produtivo final em funcionamento. A divisão do processo de desenvolvimento de um projeto em etapas é uma preferência subjetiva, mas para o caso de um processo químico pode-se proceder assim:

1. Prospeção tecnológica
2. Projeto experimental do P&D
3. A unidade piloto e a especificação do processo
4. Extrapolação de escala e especificação do projeto

1. PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

A prospecção tecnológica pode ser dividida em 3 fases principais:

1.1.- A IDÉIA INICIAL

A construção de uma idéia viável para ser proposta aos níveis de decisão da empresa é um processo que se inicia em qualquer ponto do processo produtivo. Esta pode ser gerada fora da empresa, em universidades, na literatura, centros de pesquisa, ou simplesmente a partir de uma necessidade constatada no mercado ou da possibilidade de se criar necessidades a serem preenchidas no mercado.

No caso da pesquisa que é objeto do estudo de caso, a sílica via anidrido carbônico, observa-se uma sobre determinação de causas que levaram à idéia. Do ponto de vista industrial o importante é que a idéia seja viável, mais que saber quem é o dono da idéia, ou a forma de sua composição. Porém para objeto deste trabalho, esta última questão é importante, pois permite conhecer os mecanismos pelos quais dá-se o processo de trabalho da inovação e da extrapolação.

As idéias de desenvolvimento surgem também a partir da análise prospectiva de mercado e/ou de planos normativos de desenvolvimento.

As idéias provém de diversas fontes, mas as idéias que impõe-se como dominantes são aquelas que podem ser vistas assim pelos atores envolvidos. A construção da idéia, a imposição dela frente a outras, é um processo subjetivo, (Vergragt P.J., 1988, pp 483-513).

1.2 - PESQUISA PRELIMINAR

Uma vez definida a idéia de desenvolvimento, é efetuada uma avaliação de sua viabilidade mediante um estudo preliminar. Este inclui a identificação de limitações e oportunidades para o desenvolvimento de um projeto de capital. Assim, são avaliadas as perspectivas de negócios, a disponibilidade de tecnologia, a necessidade de P&D, as diferentes vias possíveis, e outros determinantes que servem para a avaliação da viabilidade do empreendimento. De forma sintética, o

estudo compreende:

- * A pesquisa de mercado (curto, médio e longo prazo) e as perspectivas de desenvolvimento
- * O estudo bibliográfico de processos e produtos, a avaliação de patentes existentes, das licenças e o estabelecimento de planos comparativos de P&D e a comparação das vantagens técnicas dos processos existentes
- * Fontes de matérias-primas, mão-de-obra e fornecimento de bens de capital
- * Utilização dos subprodutos
- * Estimativas de investimentos para a implantação do projeto e possibilidades de captação de capital
- * Estimativa dos riscos que o projeto poderá oferecer a trabalhadores, população e ecossistemas em geral.

Um diagrama lógico de um estudo deste tipo pode ser visto no anexo sob referência D-1.

A partir desta avaliação preliminar, é tomada a decisão para continuar já com o planejamento do estudo de P&D. Esta decisão envolve os departamentos de engenharia, marketing, planejamento, produção e de relações institucionais. A decisão é tomada por vezes na própria diretoria ou presidência da empresa. No caso de indústrias transnacionais, a decisão pode até ser tomada fora do país.

Como exemplo temos o projeto sílica via anidrico carbônico, onde se bem a decisão de início da fase de P&D foi tomada na própria Rhodia, no Brasil, a decisão final de patentear o processo e depois parar seu desenvolvimento e *engavetar* o mesmo foi tomada na matriz (França).

1.3 - DOSSIER OPERACIONAL DE P&D

Esta etapa permite analisar e objetivar as informações levantadas na pesquisa preliminar. Nesta é efetuado um trabalho

técnico-econômico.

Em primeiro lugar é efetuada uma revisão e comparação de processos existentes na literatura para o objetivo proposto. Em segundo lugar, é efetuada uma análise técnica. Aqui são comparadas vias possíveis para o processo almejado, são efetuados fluxogramas de engenharia previsíveis, são estimados os tamanhos dos equipamentos, efetuando um levantamento de necessidades energéticas, utilidades e local de instalação apropriado para cada caso. São estimados os custos operacionais de produção e, em função de custos fixos e operacionais, as perspectivas de venda e é calculada a taxa de retorno do investimento.

A partir destas informações é tomada a decisão da conveniência de se estudar o desenvolvimento do processo produtivo em questão. Usualmente a decisão aqui envolve somente a diretoria da empresa, mas a construção dessa decisão obedece a mecanismos de negociação envolvendo por todos os participantes.

O trabalho é aqui constituído pelo serviço de levantamento das informações e sua análise. A equipe é usualmente constituída por um engenheiro químico, envolvendo às vezes economistas e consultores. A elaboração do plano de trabalho é fortemente marcada pela aplicação de regras heurísticas, muito mais explicitamente ainda quando não existem antecedentes acerca do tipo de processo produtivo sob estudo. Porém, quando há antecedentes, a regra heurística seguida é muito forte; e como primeira condição segue-se algum dos caminhos indicados nas patentes existentes sobre o assunto.

2. PROJETO EXPERIMENTAL

Aqui é efetuado o trabalho de pesquisa e desenvolvimento do processo. O serviço é devidamente detalhado para cada uma das partes envolvidas. São estimados prazos para se efetuar os estudos. A seguir, passam por uma fase de orientação na qual, é efetuada uma rápida

avaliação de parâmetros, encontrando se o espaço de validade dos mesmos, na procura de atingir consignas realizáveis a nível industrial.

2.1 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL DE P&D

A fase de P&D do processo passa por várias fases. Estas não são condição necessária para todas as pesquisas de processo, porém servem como uma metodologia que permite poupar tempo e dinheiro. Analisaremos de forma sucinta, alguns dos métodos existentes para o o planejamento dos caminhos da pesquisa e dos experimentos.

2.1.1 Ensaios de Orientação

Consistem por um lado na tentativa da reprodução de resultados apresentados em patentes, trabalhos, de resultados conhecidos a partir da experiência carregada por elementos da própria empresa sobre processos dos concorrentes (cópia, roubo, absorção de conhecimento pelo emprego de mão-de-obra experiente operando um processo similar, etc). Por outro lado, quando não existem dados, estes ensaios permitem conhecer espaços de validade de parâmetros.

Os ensaios de orientação fornecem uma base heurística negativa mais precisa sobre os caminhos que não devem ser seguidos (a *princípio*) na pesquisa. Eles dão os limites de validade dos parâmetros independentes. Permitem avaliar até onde pode-se pensar na viabilidade do projeto.

Quando trata-se de estudos onde existem patentes sobre o assunto e estão disponíveis ou foram recuperados da literatura durante o estudo prospectivo, estas são testadas. Neste caso específico o que trata-se de provar é que:

1. É possível reproduzir a patente (*é possível fazer*)
2. É possível completar dados que sempre faltam nas patentes (*é*

possível fazer bem feito)

3. É possível melhorar a patente (*é possível fazer melhor*)
 4. É possível superar a patente reservando espaço que supere o do concorrente. Em caso de não ser possível de patentear (incompatibilidade jurídica) o processo pode ser maquiado o suficiente para ser utilizado sem prejuízos legais.
-

Os ensaios de orientação são um mecanismo seletivo que permitem, pelo uso da experiência dos pesquisadores e regras heurísticas, fazer longos estudos e um grande número de ensaios. O que é feito nos ensaios de orientação não está escrito nos livros, faz parte de regras heurísticas da comunidade técnica: é aquela formada pelos operadores, técnicos químicos, engenheiros. A metodologia ensina como chegar a um ensaio tipo após a fase de orientação. Aqui definem-se os intervalos onde os parâmetros independentes serão estudados. Nos ensaios de orientação é espremida ao máximo, a possibilidade de se atingir os parâmetros econômicos do processo (os parâmetros dependentes). Estes são os que definem a viabilidade como condição necessária. A própria viabilidade poderá ser negada depois como consequência de estudos mais aprofundados na fase dos planos de ensaios.

Nesta fase são estudadas as operações unitárias previstas para estudos segundo o fluxograma previsível levantado no estudo de planejamento da fase de P&D. Rapidamente e por um pequeno número de ensaios em escala laboratório é avaliada a possibilidade de se atingir a qualidade requerida do produto.

2.1.2 Critérios Técnico-Econômicos de Avaliação

Nos ensaios de orientação tal como foi apontado, são determinados os parâmetros mais importantes do processo, e qual é o tipo de equipamento apropriado para continuar os estudos, e a região de validade econômica dos parâmetros independentes. Isto significa, que o

processo de trabalho da pesquisa é aqui conduzido visando critérios econômicos. Esta avaliação é efetuada mediante os critérios de avaliação das operações unitárias.

Entende-se por critérios de avaliação das operações unitárias, aqueles indicadores desenvolvidos relacionados com a medição da eficiência técnico-econômica das operações unitárias. Sua elaboração nem sempre faz parte do trabalho de pesquisa aplicada, a não ser naquelas empresas e instituições que possuem recursos humanos e uma estrutura dirigida para a pesquisa industrial. Os critérios de avaliação passam a ser os parâmetros dependentes com os quais é estudado o desempenho dos ensaios programados. Todos os resultados obtidos experimentalmente são introduzidos neles e por cálculo é determinado o desempenho técnico-econômico da operação unitária ou processo sob estudo. Como exemplo disto temos na sílica via anidrido carbônico, a avaliação da operação de precipitação mediante a utilização da produtividade, o rendimento em termos de sílica, a taxa de conversão de anidrido carbônico, a microporosidade, entre outros .

2.1.3 Ensaios Programados

O planejamento de ensaios e a utilização dos critérios de avaliação são as formas mais primitivas na tentativa de se manter um controle de trabalho real de P&D. O planejamento dos ensaios é necessário para tornar produtivo o trabalho de P&D. A sua vez torna planejável a obtenção dos resultados e dentro de uma perspectiva econômica e financeira. Este pretendo trabalho prescrito indica os caminhos escolhido onde é realizado posteriormente o trabalho real com *indicações fortes*, que regulam a criatividade e mantém o trabalho dentro de sua esfera criativa, mas com um controle produtivo.

O plano de ensaios deve ser suficientemente planejado para levantar todas aquelas informações que não sejam limitadas pela escala de trabalho e que permitam também quantificar o desempenho do processo mediante critérios de avaliação. Os planos de ensaios permitem conhecer melhor o processo sob desenvolvimento, com o menor custo possível:

Todos os caminhos levam a Roma, o que muda é o preço da passagem.

Para se chegar rapidamente ao objetivo definido e ao conhecimento técnico-econômico do processo, deve-se conhecer a influência de cada um dos parâmetros sobre os critérios de avaliação. Realizar planos de ensaios ajuda a determinar melhor as conseqüências das modificações das condições experimentais.

Um técnico de pesquisa aplicada quando enfrenta por primeira vez seu problema, pode ser comparado a um náufrago num bote no meio do oceano: perdido. Para sair do lugar é preciso encontrar uma direção fixa e estudar as possibilidades de se chegar a algum pedaço de terra firme. Um plano de ensaios consiste em uma ferramenta que permite definir e seguir caminhos a partir de hipóteses e efetuando escolhas e decisões a partir dos resultados obtidos nas experimentações. Ele permite obter o máximo de informações a partir de um mínimo de resultados experimentais.

Um plano de ensaios pode também incluir diferentes caminhos para explorar direções possíveis. Por exemplo, para subir a uma montanha existem várias formas de programar a subida:

- Em primeiro lugar pode-se subir de helicóptero e saltar de paraquedas no topo. Dispensa-se desde já o comentário sobre o que permitiria conhecer esta abordagem em termos dos caminhos convenientes para se chegar ao topo. Este tipo de experimentação "*paraquedista*" pode render frutos importantes a curto prazo (acertar condições de processo), mas não aporta uma heurística positiva para o conhecimento do processo sob desenvolvimento.

- Pode-se escolher por escalar a montanha acima de um burro. O animal fará de fato a prática do mínimo esforço seguindo trilhas apropriadas. Poderá ser um caminho mais lento, e de pouco risco, mas às vezes não possibilitará chegar ao topo.

- A outra opção que é mais arriscada porém sistemática e mais rápida que a anterior, é a de escalar a montanha. Aqui a questão é diferente. Os montanhistas, deverão ter alguma experiência no assunto, conhecer bem as condições atmosféricas, o tipo de terreno que poderá ser encontrado, devendo decidir durante a subida as direções que sejam um compromisso entre o risco e o tempo de subida. Se houver necessidade de subir com rapidez, terão que assumir mais riscos e para isso levar consigo suficientes ferramentas e conhecimento técnico que permita, em princípio, efetuar um trabalho seguro e de acordo com o planejado. Mesmo assim, poderão não chegar ao topo nas primeiras tentativas.

Com os planos de ensaios acontece algo similar. Quem conhece suficientemente o assunto ou aceita o máximo de riscos, pode optar também pelo método do paraquedista. Aquele que está interessado em como se sobe, optará por tentar conhecer apropriadamente as diferentes vias e escolher uma via que satisfaça exigências de risco e de tempo.

Na pesquisa científica aplicada é usual que o pesquisador determine a influência de parâmetros um a um, mantendo os restantes constantes. Neste caso, se houver interações entre parâmetros independentes, torna-se excessivamente caro estudar a influência dos mesmos. Como exemplo disto, temos, se for necessário, que estudar a influência de onze parâmetros, onde se tem a suspeita de dependência de segundo grau, levaria pelo método fatorial, um total de 4.608 experiências. Existem formas de diminuir o número de ensaios. Na redução de número de experiências, as regras heurísticas da engenharia química e as técnicas de processo são de fundamental importância.

É necessário, portanto, escolher pela própria experiência, aqueles parâmetros realmente importantes, reduzindo eles a não mais de três ou quatro; os outros devem-se estudar por métodos diferentes.

No trabalho de laboratório de bancada e/ou piloto existe uma forte acumulação de trabalho real sob a forma de alternativas prescritas. A exemplo disto temos as mudanças de rotinas no piloto e nos métodos analíticos. Para expressar mais concretamente isto, pode-se dizer que as prescrições para se dirigir organizadamente as experiências para objetivos programados, são uma espécie de guia daquilo esperado em cada experiência. Porém, o trabalho de laboratório de pesquisa é trabalho real com pouco nível de coletivização, onde o saber e seus mecanismos diversos de combinar o conhecimento permitem manter um alto nível de subjetividade no trabalho efetuado. Assim, a intuição, a observação, o *feeling*, a experiência, as discussões ao pé do piloto, a heurística é incorporada nesse trabalho real. Essa subjetividade é a que permite incorporar a componente criativa dentro do trabalho real⁴⁾.

A divisão do trabalho entre manual e intelectual⁵⁾, comum no trabalho já coletivizado como uma forma de hierarquia estabelecida como necessidade de controle, raramente existe no trabalho de pesquisa aplicada. A construção de um processo produtivo requer uma combinação de ambos, mas com preponderância do intelectual. A divisão entre ambos é efetuada como uma imposição objetiva (do capital), ela é prescrita na extrapolação, para depois coletivizar o trabalho no processo de produção, mantendo assim o domínio do trabalho intelectual sobre o manual como princípio produtivo.

De fato, que na pesquisa existem hierarquias e uma relação intensiva decrescente de trabalho intelectual/manual, à medida que se passa do chefe do projeto para os técnicos menos experientes, mas falando estritamente de trabalho experimental, a divisão dos dois é impossível no ponto de produção do conhecimento. O social do trabalho no laboratório tecnológico consiste no trabalho solidário já que os resultados são obtidos pelas equipes. Os motores da motivação individual não são o número de publicações, nem os debates em si, mas sim as patentes requeridas, os projetos desenvolvidos e/ou implantados.

Também não são as viagens ou congressos, as novas verbas como seria na pesquisa básica. Em vez disso, tem-se os treinamentos a cada novo projeto, os aumentos de salário em função da carga horária nos pilotos, o volume do projeto e as responsabilidades assumidas, o tipo ou importância do produto (perigoso, farmacêutico, de consumo massivo, etc.) e a nova rede de relações estabelecidas.

Dentro das metodologias existentes para a programação de ensaios pode-se optar por metodologias de ensaios fatoriais; fatoriais simplificados; simplex; entre outras (Davies O.L., 1954). Estas consistem em ferramentas matemáticas simples que utilizam conjuntamente outras de origem estatística¹⁾.

O fato é que o plano de ensaio obriga a pensar. O pesquisador deve planejar cuidadosamente o que vai fazer antes de agir. A nível matemático, o raciocínio é falsacionista e as hipóteses são testadas com ajuda estatística. Assim, dá-se um processo de troca de hipóteses toda vez que a anterior prova-se ineficiente frente às provas empíricas.

2.1.4 Ensaios de Comprovação

A partir dos ensaios programados, surgem uma série de funções que permitem atingir compromissos entre os critérios de avaliação que podem ser traduzidos em parâmetros econômicos. Sempre do ponto de vista matemático existirá uma função que permita maximizar a eficiência do processo. Porém, isto deve ser comprovado também empiricamente. Por essa razão, são efetuados os ensaios de comprovação. Aqui são testadas as hipóteses que correlacionam condições de processo com os critérios de avaliação.

Em caso de verificarem-se desvios, devem ser repetidos alguns dos ensaios programados procurando encontrar as causas do desajuste funcional.

É comum que as operações complicadas tal como a reação de síntese do produto, onde pode haver dependência do 2º grau, sejam

estudadas pelo método fatorial ou fatorial simplificado. As operações de purificação, por exemplo, são estudadas de maneira mais simples. Às vezes, a otimização acontece no próprio estudo de orientação, utilizando métodos tais como o SIMPLEX operados passo a passo. Em outras oportunidades espera-se a completar todos os ensaios, com seus resultados é analisada a matriz de ensaios e efetuada a otimização completa da operação unitária. (Beveridge, G.S., et al, 1970). Às vezes, conhecer as condições ótimas de operação não é exatamente um caminho barato devido à *resistência* de alguns parâmetros que ficam fora do estudo detalhado de otimização. Neste caso, opta-se por uma boa condição e não pela melhor.

2.1.5 Otimização de Processos

Aqui verifica-se a funcionalidade da sucessão de operações unitárias para atingir consignas econômicas e de qualidade do produto final, são avaliados os subprodutos gerados, os efluentes e resíduos originados no processo e os perigos que o processo apresenta como consequência de *run away reactions*, sendo verificada a operabilidade do processo. Existem vezes onde a otimização da operação de síntese inviabiliza a operação subsequente, devendo ser retomado então o estudo sobre as operações visando otimizações que viabilizem a seqüência de operações.

O fato das operações unitárias serem funcionais e eficientes isoladamente a nível piloto, não implica que o sejam com relação ao processo completo, onde é alcançado um grau mais elevado de complexidade tecnológica. Assim, às vezes, a soma das partes simples não dá um todo mais complexo que funcione de forma contígua e com um controle contínuo sobre todas as operações.

Uma vez definido um processo viável, isto é, operável, escolhem-se caminhos para sua otimização. Às vezes interessa aumentar o tempo de vida do catalizador, o rendimento de uma reação, a segurança do processo, etc.. Usualmente, a metodologia é pragmática, pois resulta

um tanto caro efetuar uma nova série de ensaios programados em cada novo ajuste do processo. (Converse, A.O., 1977).

2.1.6 Estudo de Sensibilidade de Parâmetros

Consiste em um método de estudo de influência de parâmetros (pode ser feito na escala industrial) efetuado com um grande número de ensaios sobre os quais são fixadas firmemente as condições. Posteriormente é mudada alguma condição e as mesmas são repetidas por alguns ensaios. Como resultado obtém-se neste caso, duas distribuições estatísticas de critérios de avaliação. A comparação destas informações permite conhecer a influência de parâmetros, com a vantagem de continuar produzindo e não mudando a qualidade do produto fora da região de confiança, já que os parâmetros independentes são mudados em quantidades *infinitesimais*. Aqui são fundamentais os sistemas de controle das condições; a elevada precisão e exatidão dos métodos analíticos e a metodologia estatística entre outros.

Estes estudos são de fundamental importância para processos onde existem parâmetros de alta sensibilidade que afetam a qualidade do produto final. Como no caso da Sílica via Anidrido Carbônico, observou-se que a microporosidade do produto final (sílica) é altamente sensível a parâmetros tais como temperatura, tempo de quebra do gel, pós-adição de silicato, etc.. Investir grandes somas em processos onde há uma alta sensibilidade de parâmetros na escala piloto é muitas vezes um convite para o insucesso na escala ampliada, devido a um novo quadro de incertezas introduzido pela extrapolação de escalas.

A sensibilidade de parâmetros tem a ver com o controle do processo de trabalho. Hoje, com o novo discurso de controle da qualidade dos processos de trabalho e a sua importância na competitividade de mercado, temos as ferramentas da qualidade. Estas ferramentas que são dirigidas ao monitoriamento e o controle do processo de produção, não são outra coisa que ferramentas simplificadas de medição da sensibilidade de parâmetros de processo. Como exemplo

disto temos as cartas de controle (Ishikawa, K., 1989, p 61) que medem o desvio dos parâmetros de processo dentro de distribuições estatísticas *aceitáveis* para o processo em consideração.

2.2 METODOLOGIA E REGRAS HEURÍSTICAS

Este ponto faz uma abordagem à tecnologia, fazendo uso de elementos de análise da filosofia da ciência, na tentativa de mostrar o processo seguido na pesquisa tecnológica. De maneira alguma, esta seção pode ser considerada como contexto da filosofia da ciência nem de questionamento sobre este assunto. Tomou-se simplesmente a liberdade de utilizar alguns elementos desta para melhorar a compreensão do processo metodológico de replicação de experimentos.

A metodologia que permite replicar experimentos e provar a veracidade de qualquer patente é indutivista no sentido de que sempre os bons resultados obtidos são *testados* mediante estudos de reprodutibilidade.

Quando são escolhidas patentes e publicações diversas para dar apoio a serviços de desenvolvimento, não tenta-se provar se uma dada patente e os experimentos neles descritos como exemplos são ou não falsos. Pelo contrário, o espírito que domina é o de conseguir a reprodução dos resultados, de completar informações (inexistentes nas patentes) e com o objetivo final de *superar* os resultados apresentados na mesma.

Nesta fase entram como uma importante componente subjetiva do trabalho as regras heurísticas. Os equipamentos-piloto onde são testados os processos apresentados nas patentes obedecem a regras empíricas gerais que podem não estar nos livros e que fazem parte do conhecimento *latente* da comunidade praticante. São parte do esquema subjetivo de poder e de resistência do pesquisador frente ao conhecimento objetivo estabelecido pelo capital. É comum que nas patentes não sejam dados os detalhes dos equipamentos onde o processo

em questão é executado. O projeto e a construção dos mesmos é realmente o primeiro desafio de uma equipe de pesquisa e desenvolvimento. Aqui não se trata de provar se uma dada teoria é falsa ou se ela é cumprida à risca num outro fenômeno.

Os dois tipos mais claros de *falseacionismos* ao estilo Lakatos, são o *justificacionista*, o qual procura os casos *confirmadores* de uma teoria, e o *ingênuo*, o qual coloca em destaque os casos *refutados*. Para os *falseacionistas metodológicos* os casos corroboradores de informação excedente são os cruciais (Lakatos, I., Musgrave, A., 1979).

A pesquisa tecnológica em química industrial funciona como uma área de pesquisa alimentada pelo conhecimento científico de diversas disciplinas finalizadas. A não ser no conhecimento tecnológico de ponta, onde o limite entre a ciência e tecnologia é difícil de efetuar, no desenvolvimento tecnológico de processos químicos muitos trabalhos são mais um caso de desenvolvimento, parecidos com outros onde as mesmas operações unitárias são utilizadas. Assim, é utilizada uma sucessão de análises falseacionistas, que, de alguma forma, passam pelas três fases descritas:

1. ingênuo
2. justificacionista
3. metodológica.

Os testes iniciais de uma patente e seus exemplos constituem um falseacionismo ingênuo. O teste é efetuado reproduzindo exemplos da patente. Muitas vezes uma patente é refutada porque não é obtido com baixo custo de pesquisa o mesmo nível de resultados da mesma.

Uma patente não é precisamente para ser copiada ou reproduzida com facilidade pois os detentores não só vendem a tecnologia protegida por esta, como se protegem de eventuais cópias.

Assim, as patentes escondem elementos importantes para a reprodução dos resultados *vendidos* ou oferecidos para venda. Não é uma simples questão de reprodução das condições apontadas nos exemplos. É necessária uma *expertise* especial para se efetuar os ensaios de reprodução experimental, a escolha das condições, da escala, do tipo de reator. No caso da utilização de catalisadores, a questão da escolha do *catalisador ideal* pode levar a numerosos ensaios, às vezes com resultados negativos. Aqui, a experiência fala mais alto na hora da procura de informações que são úteis, mas não constam dentro da patente.

Após essa fase que elimina ingenuamente as possibilidades, vem uma fase que pode-se considerar como *justificacionista*. Nesta fase em muitos casos são modificadas as condições de trabalho daquilo provado na fase anterior: são trocados solventes, catalisadores, relações de alimentação de reagentes, etc., mas sempre são observadas as relações entre ganhos e perdas das vantagens das mudanças de processo com relação ao processo de partida, seja de um desenvolvimento próprio ou partindo de uma patente.

Esta fase é metodologicamente importante pois define de forma grosseira a *feasibility*, a *marketability*, a lucratividade e a solidez técnica do projeto. Mas após esta fase continua havendo problemas. O processo *desenvolvido* só poderá ser patenteado e usado se forem superadas as eventuais patentes sobre a quais o processo pode estar sendo modelado. Muitas vezes não é possível superar as patentes, mas nesta etapa são estimuladas as idéias para o desenvolvimento de um processo assentado em outras bases técnicas diferentes daquelas das patentes abordadas. A exemplo disto estão as trocas de matérias-primas, do tipo de catalisador, do solvente, das operações unitárias utilizadas.

Muitas patentes são boas idéias mal patenteadas e mal exploradas. Técnicos com outro ângulo de percepção da realidade técnica são capazes de abordar formas superadoras da mesma idéia e novas aplicações. A sistematização metodológica permite obter resultados superadores, seja mediante estudos de otimização, extrapolação,

sensibilidade de parâmetros, prevenção de perdas, estudos de operabilidade, etc., os quais permitem reciclar a natureza técnica e gerencial de um processo produtivo.

O modelo de pesquisa industrial apresentado por Haire, G. da Rhône Poulenc é caracterizado por três pontos epistemológicos importantes:

1. saber fazer
2. fazer bem feito
3. fazer melhor.

não é mais do que uma comprovação de como numa grande empresa como na Rhône Poulenc seguem-se linhas falseacionistas de pesquisa tal como nos apresentamos aqui: (Haire, G., 1983).

Na pesquisa industrial química não procuram-se, de forma planejada, novos conhecimentos e a elaboração de novas teorias ou a derrubada das mesmas. A exceção são as vezes as pesquisas de ponta na área de materiais, microeletrônica e biotecnologia. Na pesquisa aplicada procura-se com alto espírito empreendedor a introdução de novos produtos e processos, superar velhas técnicas, tecnologias e metodologias e adaptar processos ao mercado.

Tal como na pesquisa básica, na pesquisa aplicada os que mandam são os *atos científicos*, mas com a calculadora financeira do lado. A noção de lucratividade e a procura pela competitividade por processos que permitam atingir taxas de lucro crescentes são os motores objetivos da pesquisa industrial. Os motores subjetivos são o trabalho dos técnicos e engenheiros nos laboratórios e a estrutura social sobre a qual assenta-se o paradigma de experimentação-piloto, os mecanismos de negociação e de construção da realidade dos objetos tecnológicos.

Na pesquisa tecnológica não procura-se saber tudo sobre um dado fenômeno. Procura-se saber se o fenômeno é viável para dar lucro, se este é financeiramente viável para exploração. No momento em que não é prejudicial parar os estudos, a pesquisa termina no uso e na utilidade mercadológica da idéia. Na pesquisa básica o estudo continua

por regras de consenso da comunidade praticante, pois o objetivo é mais ligado ao próprio conhecimento, apesar de também estar atravessada por *regras econômicas*. Cada dia estuda-se na pesquisa básica muito mais daquilo que o parque tecnológico de um país demanda.

2.2.1 Regras Heurísticas

O projeto inicial de um processo químico de produção, a partir de uma reação dada, o qual consiste em conjecturas plausíveis, porém falíveis é planejado seguindo regras heurísticas.

Estas regras representam de forma condensada, a experiência profissional de uma comunidade praticante acumulada por longos períodos de trabalho. Na maioria dos casos, estas regras são consideradas vantajosas e corretas, sem alcançar o *status* de conhecimento explícito. Assim, estas regras sempre implicam no comentário *se não há objeções....*

Acontece que certas regras são mutuamente excludentes e há entre elas, uma certa hierarquia. A contradição entre regras diferentes (ou hierarquicamente diferentes) depende do grau de maturidade do projeto ao qual as regras são aplicadas.

Quando é efetuado o exercício indutivo ao pensar como seria um processo a partir do conhecimento de dados físico-químicos de produtos, de cinética de reações, etc., o leque de possibilidades, é às vezes, enorme tecnicamente falando. No início da pesquisa, os graus de liberdade nas idéias são maiores que a *posteriori*, já que a pesquisa não é outra coisa que o teste de opções entre caminhos a serem traçados.

À medida que o projeto avança, as regras tornam-se mais estritas e *objetivas*: no início são indicações e formas de colocar a natureza técnica de um processo sobre bases científicas; depois as regras colocam restrições ao processo sob desenvolvimento; por último, colocam valores *heurísticos* de magnitudes físicas (ex: consumo de energia de um agitador) que são técnica e financeiramente viáveis.

Quando efetua-se, na extrapolação, são escolhidas mediante regras, as condições que garantem a viabilidade financeira de implantação de um projeto. A extrapolação é o ponto onde as regras heurísticas permitem decidir e selecionar equipamentos, inviabilizar um processo ou mudar o tipo de operação unitária utilizada. Apesar de existir às vezes a extrapolação empírica do processo, raramente na hora de investimento os projetos ficam ilesos da aplicação de regras heurísticas que mudam aspectos do processo. Deve ficar claro que as regras utilizadas na extrapolação são subjetivas do ponto de vista de pertencer ao trabalho criativo acumulado na comunidade praticante. Porém, estas regras fazem parte de imposição das condições objetivas que garantem a viabilidade financeira de um dado empreendimento.

A construção das regras heurísticas e por assim dizer uma das características das chamadas ciências finalizadas. A composição de uma regra leva elementos de várias áreas do conhecimento. Estas provavelmente tem uma história similar à da história das operações unitárias. As regras heurísticas não se escrevem pois são patrimônio dos químicos, técnicos, engenheiros e gerentes mais experientes e consistem *per se* um fator de valorização de mão-de-obra técnica. São uma espécie de cristalização da subjetividade do trabalho como forma de resistência à apropriação do trabalho por parte do capital que possibilita a valorização da experiência dos técnicos. Muitas vezes, as regras são impregnadas pela cultura de uma empresa particular, e não existem em outras.

Existem regras mais gerais também que são extraídas da própria química de acordo com esquemas mais uniformes:

- * A reação é efetuada antes da separação: a purificação da matéria-prima é efetuada somente se o grau de pureza da mesma interfere nos parâmetros de reação, tais como a conversão, o rendimento.
- * Cada reação é efetuada somente uma vez num processo.

- * A matéria-prima não convertida é reciclada.
- * As reações paralelas são suprimidas.
- * Os subprodutos são reconvertidos a matéria-prima.

Estas regras são mais regras de química que regras de engenharia. Já possuem dentro de si, o signo da lucratividade. Negá-las seria (em geral), uma falta de senso econômico. Na química fina e na farmacêutica, algumas destas regras são negadas fácil e correntemente. Pela natureza técnica recalcitrante dos processos, são necessárias muitas etapas para se obter o produto final, mas neste caso, o lucro destes produtos finais é elevado e justifica tais *anormalidades* na prática da engenharia química.

O levantamento metódico destas *regras heurísticas* na comunidade praticante viria requerer a análise de um grande número de processos existentes, porém, o que é importante é que este levantamento deveria ser feito sobre processos em operação onde se poderiam avaliar a veracidade de tais regras. Isto não é feito por várias razões. Por um lado, parte das regras renovam-se com o avanço tecnológico e são um espécie de poder dentro da comunidade praticante. Por outro, se bem que o levantamento das regras não atenta contra a propriedade industrial dos processos, as empresas não abrem suas portas para tais tipos de avaliações, por temor de se tornarem vulneráveis com a difusão de dados sobre seus processos produtivos. As regras ficam então relegadas às comunidades praticantes.

Existem regras heurísticas estabelecidas para cada tipo de operação unitária. Estas não são estáticas para muitos casos onde há mudança de fatores de eficiência dos equipamentos. Como exemplos de regras heurísticas, são fornecidas a continuação de algumas utilizadas em extrapolação de processos; levantadas em 1989 dentro de uma empresa inglesa por técnicos experientes e passadas aos colegas como um recado entre amigos:

SEGURANÇA E OPERAÇÃO DE UNIDADES

- * A máxima elevação da pressão num vaso a partir da pressão atmosférica, devida à explosão de um pó é de 100 psi ou 700 kN/m²
- * Para reações fortemente exotérmicas, a velocidade da reação duplica a cada 5°C de aumento da temperatura.

EXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO

- * O ajuste da carga para extração líquido-líquido sob operação pode ser feito assim:

	m ³ /h.m ²
Separação lenta:	1,0
Separação média:	5,0
Separação rápida:	7,0

Custos na planta

- * tempo real do ciclo em batch = tempo teórico x 1.25/f
onde f = 0.6 para planta multipropósito/multiproduto
f = 0.9 para planta multipropósito com produtos químicos similares.

CUSTO DE MANUTENÇÃO E ESCALA DE PRODUÇÃO

- * Reator + arranjos no vaso + equipamentos de isolamento =

US\$ 200/dia	_____	escalas de 2 m ³ /4 m ³
US\$ 2000/dia	_____	escalas de 10m ³ /30m ³

MECÂNICA DOS FLUIDOS:

- * Para evitar a acumulação de carga estática em fluidos

não-condutores, transferidos em tubulações, a velocidade deve ser menor que 1 m/s.

- * A velocidade da água nos tubos de um trocador de calor não deve ser menor a 1 m/s e superior a 2 m/s.

AGITAÇÃO

- * Níveis gerais de potência de agitação são:

baixa	_____	0.2 kW/m ³
moderada	_____	0.5 kW/m ³
alta	_____	1-1.5 kW/m ³
muita alta	_____	3.0 kW/m ³

Assim podem ser estabelecidas numerosas regras as quais são parte do conhecimento dos técnicos e utilizadas para decidir os caminhos da pesquisa, do aumento de escala, etc.. Em caso de uma operação ser muito perigosa, a aplicação destas regras implicará em mudanças no processo, seja na própria concepção do processo ou em sistemas de proteção. Para análise dos perigos de processo de uma unidade qualquer, as regras heurísticas já adotaram uma forma sistemática e são aplicadas na forma de pacotes conhecidos como estudos de perigo (**Hazard Studies**).

Se a potência de agitação necessária for muito elevada, poderá se pensar na mudança do sistema reacional, do tipo de reação, do sistema catalítico utilizado (ex: de homogêneo e agitado para leito fixo), etc.. Se for em química fina, a escolha da escala poderá implicar num custo de manutenção até 10 vezes menor que em outra escala 5 vezes maior.

A grosso modo, mas seguindo regras empíricas... Se não houver opinião em contrário... As regras heurísticas continuarão com a razão.

2.2.2 A Heurística do Problema de Pesquisa

A HEURÍSTICA NEGATIVA

No desenvolvimento de processos de produção, é elaborado na primeira fase, o estudo prospectivo e o planejamento do estudo de desenvolvimento. Durante estes, são dados os limites do estudo de desenvolvimento. Assim, é formulada a *heurística negativa* do problema. Aqui são estabelecidas, a princípio, as operações unitárias que não poderão ser utilizadas e as suas razões. Quando já existe bastante literatura sobre o assunto, a questão é fazer a análise de consistência das informações, para orientar a P&D mediante um dossier operacional. Por um lado, essa *heurística negativa* não é mais do que um resultado da aplicação do conhecimento estabelecido para delimitar o campo de atuação. Os elementos pluridisciplinares utilizados nesse tipo de avaliação são parte de engenharia química como uma *ciência finalizada*, da análise de operabilidade de processos, da disciplina do *management*, das finanças, mas estes conhecimentos cruzados não-descritos, dependem da experiência do pessoal envolvido nas avaliações. De fato, existe um arcabouço técnico forte que confirma as decisões, mas estas são estabelecidas de forma subjetiva. O esquema de decisão não é alheio à hierarquia estabelecida na instituição ou empresa e, passada uma certa fase da análise estritamente técnica, a questão cai na análise financeira, porém baseada naquela última.

A HEURÍSTICA POSITIVA

Lakatos já diz que a heurística positiva é aquela que impede que o cientista se confunda dentro das *anomalias* ou das próprias dificuldades teóricas encontradas no decorrer da pesquisa.

A heurística positiva conduz à lógica da solução dos problemas da pesquisa. Ela é amparada num corpo teórico e cresce numa sucessão de rupturas, decisões, mudanças de problemas, verificações e refutações de hipóteses tecidas a cada passo da pesquisa. As regras

heurísticas cumprem um papel sinérgico e por sua vez, contraditório com o avanço do conhecimento. A hipótese de que um parâmetro é responsável pelo aumento do rendimento de uma reação, é o próprio motor dos próximos ensaios, e constitui nesse momento uma regra heurística para análise do problema. Esta regra forma parte, até prova contrário, da heurística positiva do assunto.

Quando é selecionada uma hipótese e é demonstrada sua não-validade, esta cai em *desgraça* e dá lugar a outra nova hipótese, assentada na experiência adquirida no assunto e baseada em conhecimentos amplos da ciência geral utilizada. A produção de resultados na *pesquisa industrial organizada* é assustadora e é também assustador o número de hipóteses e regras feitas e desfeitas em poucos dias e o número de decisões tomadas.

Um bom pesquisador industrial, mais que um técnico, é um gerente que consegue administrar com êxito um grupo de trabalho, utilizar adequadamente elementos técnicos baseados em decisões multidisciplinares fundamentais no empirismo.

Após desta introdução *behaviorista* deve ficar claro que falar em *regras* ou *normas* facilita às vezes o entendimento. Estas regras mudam, e de fato são diferentes em diferentes comunidades praticantes e sociedades. Correlacionar a nível de teoria, normas de comportamento gerais da comunidade científica ou tecnológica é um tanto difícil tal como separar o técnico do social na análise da ciência e da tecnologia. Mas não necessariamente tudo deve ser *regrado* por *regras* do comportamento da comunidade praticante, obedecendo a isomorfismos entre teorias evolucionistas, psicológicas ou técnicas. Este tipo de análise de *faz-de-conta* foge do estudo do processo de trabalho que se desenvolve na ciência e na tecnologia e fica nas correlações entre *behaviorismo* e a *seleção natural*. Assim estas abordagens explicam resultados, mas não o processo de construção dos objetos científicos e tecnológicos, como um processo de trabalho.

Há questões técnicas *recalcitrantes* explicáveis pelo arcabouço técnico, porém, quando trata-se de desenvolvimentos, estes devem ser explicados usando também outras *regras*. Existem, a la **Callon** e **Latour**, também na coisa técnica, o confronto de questões sociais, simbólicas, materiais e políticas, que são em essência, a dinâmica do desenvolvimento tecnológico.

3. A UNIDADE PILOTO

3.1 - OBJETIVOS GERAIS DA UNIDADE PILOTO

As unidades-piloto representam uma parte crítica do processo de inovação tecnológica industrial. O seu papel do ponto de vista financeiro é o de minimizar os riscos de capital associados com futuras plantas comerciais. Os objetivos das unidades-piloto são relacionados a problemas dos mais diversos, desde aqueles associados ao mercado de um produto, planejamento estratégico, estudo de materiais de construção, até os fatores ergonômicos e operacionais do trabalho de fábrica. Colocá-los em forma de listagem não é exatamente uma apresentação sociologicamente elegante, mas conserva assim o cartesianismo e a possibilidade de observar a complexidade e os prováveis objetivos do trabalho numa instalação-piloto:

1. Confirmar materiais de construção
2. Identificar problemas operacionais
3. Obter dados de *projeto* da unidade para o futuro *scale-up*
4. Avaliar opções de operações unitárias e equipamentos visando a seleção final destes
5. Demonstrar a viabilidade do processo em escala comercial
6. Produzir para testar o mercado
7. Melhorar os processos de produção
8. Assegurar a renovação de processos e produtos
9. Avaliar os perigos de processo

10. Testar métodos analíticos e de amostragem
 11. Treinar pessoal
 12. Testar modelos do processo
 13. Obter confiança dos investidores e hierarquias da empresa
 14. Aprendizagem. Chance de poucos riscos para cometer erros e corrigi-los.
-

Como regra heurística da prática em unidades-piloto, nunca estas são levantadas, até que todo o trabalho na escala de laboratório seja efetuado e devidamente relatado. A questão é decidir quando o estudo de laboratório está pronto. Esta como outras decisões, envolvem toda uma estrutura política de conveniência, relacionada com vários dos objetivos acima apontados.

Existem casos onde, devido ao conhecimento já acumulado, sobre determinadas operações unitárias, é possível poupar a unidade-piloto satisfatoriamente (Schuch, G.T., 1969)²⁾.

Pfeffer et alli publicaram uma listagem daquilo que pode-se considerar o trabalho mínimo e necessário para poder se dar início ao estudo-piloto. Também, por uma preferência de conservar a apresentação de engenharia, é publicada uma listagem com sete itens principais:

1. Definição das opções do processo e suas avaliações.
 - * Fluxogramas com balanços de massa e de energia
 - * Estimativas econômicas
2. Selecionar o melhor processo de desenvolvimento baseado em avaliações técnico-econômicas
3. Desenvolver os dados básicos de processos no laboratório
 - * Propriedades físicas para todos os componentes
 - * Dados de segurança (toxicidade, inflamabilidade, estabilidade)
 - * Cinética de reação/equilíbrio
 - * Equilíbrio de fases
 - * Intervalos de operação (temperatura, pressão)

- * Métodos analíticos para matérias-primas, produto, subprodutos, efluentes
 - * Especificação de matérias-primas e produtos
 - * Taxas de corrosão
 - * Efluentes e metodologias de tratamento
 - * Dados de engenharia (transferência de calor, taxas de filtração, cristalização, rendimentos, taxas de conversão, consumos unitários, etc.)
-

4. Definir e avaliar opções de equipamentos
5. Seleção de equipamentos para os testes-piloto
6. Ensaíos de laboratório procurando a redução das variáveis a estudar na planta-piloto
7. Simulação do processo sempre que possível, para observar interrelações no processo, antes do estudo-piloto.

Curiosamente, desta listagem não aparece a questão mais fundamental da pesquisa: os recursos humanos. Parece ser como que o desenvolvimento é exclusivamente uma questão técnica, com decisões técnicas, resultados técnicos e decisões sempre técnicas!! Após se ter lido a forma de construção dos objetos tecnológicos (Capítulo I) e a subjetividade do processo de abordagem heurística dos problemas e da construção dos mecanismos de decisão, (seção 2.2 deste Capítulo) observa-se que para o mundo técnico estas questões não são visíveis pois são implícitas e mascaradas.

Para estabelecer o projeto de uma unidade-piloto é seguido um roteiro clássico de avaliação técnico-econômica:

1. São analisados todos os dados na escala-laboratório, obtidos na pesquisa.
2. As informações obtidas são cruzadas com as informações levantadas na bibliografia sobre o mesmo processo, quando existirem.
3. Com base nas informações acima apontadas, é estabelecido o processo de unidade comercial e formalizada a listagem mínima

necessária para a unidade-piloto.

4. É estimado o custo fixo do investimento e o custo operacional da unidade.

Uma vez estabelecidas estas informações, a pergunta dominante é:

Qual é a escala-piloto que permitirá uma extrapolação confiável?

3.2 ESCOLHA DA ESCALA

Antes de se pensar em construir uma unidade-piloto, devem ficar muito claros os objetivos de sua construção. Isto tem repercussão sobre a viabilidade da unidade-piloto, sua utilidade e seus custos.

As unidades-piloto possuem objetivos gerais que podem ser qualificados em três grandes categorias:

*** Técnico-econômica**

A instalação-piloto permite estabelecer e/ou confirmar dados da escala de laboratório, define-se consumos unitários, o número e tipo de equipamento necessário para se efetuar as operações unitárias que levem ao produto final, os materiais de construção dos equipamentos, fornece elementos de cálculo, a natureza das fontes de energia e estima o seu consumo, a mão-de-obra necessária, estabelece pontos críticos do processo, a necessidade analítica, a frequência de amostragem, os perigos de processo do ponto de vista das condições de operação da unidade, etc., etc..

Técnico-comercial

Além dos objetivos anteriormente expostos, visa à prospecção da clientela, fornecendo quantidades de produto para testes comerciais e aplicações.

Político

Às vezes, trata-se de processos bem definidos, com diversas patentes já fora de validade, porém os técnicos e engenheiros vêem-se na necessidade de construir a unidade-piloto com objetivo de vencer a *ingenuidade técnica* dos homens de negócios da própria empresa. Outras vezes servem como base de convencimento político nas prioridades de investimento num ou outro projeto de implantação.

Com toda operação industrial, a operação de pilotagem é dominada pela noção de custo: espera-se obter o máximo de informações, gastando o mínimo, no menor prazo possível. As contingências do processo inovativo terminam sempre colocando essas diretrizes num plano real através de um contínuo processo de negociação e de decisão.

Na construção de uma grande unidade-piloto, deve-se prever uma estrutura completa: vários andares, circuitos de insumos básicos, tais como água, vapor, ar comprimido, eletricidade, etc.. No entanto um micro-piloto poderá ser implantado sobre uma grade ou capela de laboratório comum para o uso com outros equipamentos. O funcionamento de um grande piloto requer a presença de 2 ou 3 operadores por turno. O pequeno piloto, onde todos os pontos de controle são facilmente acessíveis, é conduzido por um só operador ou técnico, membro de uma equipe encarregada da supervisão das instalações.

É mais fácil, mais rápido, menos custoso de se consertar e de se modificar os aparelhos de pequena escala. As modificações das unidades-piloto são grandes consumidores de tempo e criam uma grande inércia que pode alongar consideravelmente a duração de uma pesquisa como consequência das paradas. As paradas provocam desmotivação e destreinam as equipes. O fundamental é que o *social* do trabalho-piloto para as equipes, é intrinsecamente o trabalho sobre o desconhecido:

Sempre dá vontade de conhecer, hoje se possível, o resultado do ensaio de amanhã. Esta noção de tempo domina o espírito das equipes, e é um forte impulsionador das condições subjetivas do trabalho.

3.3 - CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS-PILOTO

A escolha da escala-piloto é uma decisão importante que pesa gravemente sobre o custo do projeto de desenvolvimento.

Os pilotos podem ser classificados segundo a natureza do produto fabricado e do processo de produção:

PRIMEIRO CASO: PRODUTO CONHECIDO - NOVO PROCESSO

É o caso de um produto já existente no mercado. Por novo processo, entende-se um processo que não faz parte da cultura da empresa, já que usualmente o desenvolvimento consiste na reprodução de patentes existentes. Há casos em que o processo é totalmente desenvolvido, pois essa via nova nunca foi testada antes.

Esta situação é favorável para a miniaturização do material de pilotagem. Em outro caso, pelo contrário, a escala de pilotagem dependerá de observar com cuidado as propriedades de aplicação do produto modificado pelas novas impurezas que são inerentes ao processo. No caso de monômeros destinados à polimerização, a estrutura e funcionalidade do polímero definitivo poderá ser afetada profundamente por traços de impurezas presentes como consequência da mudança de processo.

A forma de se limitar as quantidades de amostras a serem liberadas para testes do produto, contendo um novo tipo de impurezas, pode-se efetuar mediante estudos analíticos das impurezas e determinar a influência de cada impureza sobre a polimerização.

Existem grandes diferenças entre os contaminantes produzidos para um mesmo produto, se a via de obtenção for por síntese orgânica em fase homogênea ou heterogênea, via eletrólise, biotecnológica ou se for obtido pela via extrativa.

Os progressos no desenvolvimento de um processo são acompanhados de grandes progressos analíticos. Os recursos analíticos, porém, não permitem definir ajustes organolépticos do produto tais como odor, cor, gosto, nem das suas aplicações. Nestes casos, é usada a

experimentação sobre padrões sociais bem estabelecidos para o produto considerado,... e muita intuição.

SEGUNDO CASO: NOVO PRODUTO - NOVO PROCESSO

Este é o caso mais difícil, porque é também necessário fornecer amostras representativas aos usuários, para que possam estabelecer previsões de compra, que servirão de base para o cálculo da rentabilidade do projeto industrial.

Um dos problemas é fornecer quantidade suficiente de produto aos clientes, tal que permita efetuar uma utilização da escala industrial do mesmo.

A utilização de um produto como matéria-prima de substituição de outro, já devidamente conhecido pelo seu uso, tem que mostrar suas vantagens de uso, e custos, sem encarecer o processo do cliente do ponto de vista operacional, mas fornecendo antes de tudo, uma garantia de que as características de mercado do produto final não serão alteradas. Existem produtos para os quais é necessário impor uma produção de 5 a 10 t/mes para atender aos clientes potenciais. No caso da química fina, não existe descontinuidade entre a fase de pilotagem e a fase de produção industrial. É a mesma instalação que primeiro fornece as amostras e depois se constitui na própria unidade de fabricação. No caso do mercado desenvolver-se lentamente, a própria instalação-piloto poderá ser explorada por muitos anos.

No caso farmacêutico, é necessário efetuar numerosos ensaios toxicológicos e clínicos, visando testar a adequabilidade do produto para a saúde humana e a obtenção do certificado de venda do produto. A quantidade de fármaco a obter para seu estudo não é pequena, se é levada em conta a complexidade da obtenção de uma substância desse tipo, a nível de processo.

No caso de antibióticos, anestésicos e analgésicos, onde o mercado pode ser de algumas t/ano, será necessário produzir algumas dezenas de kg para os testes.

Existem casos também onde um processo alternativo para um mesmo produto implica em detalhes complicados similares ao desenvolvimento de um novo produto.

TERCEIRO CASO: MELHORAMENTOS DE UM PROCESSO DE PRODUÇÃO JÁ INSTALADO

Esta é a situação que mais serve para a miniaturização visando a economia dos recursos na fase de pilotagem. Aqui não é necessário fornecer amostras do processo, e usualmente procura-se a otimização de somente algumas das operações do processo.

Como exemplo disto, têm-se o estudo de melhoramento do rendimento de uma reação efetuada em catálise heterogênea em leito fixo. No caso de reatores industriais, os tubos contendo o catalisador funcionam em paralelo. O objetivo da pesquisa aqui é testar novos catalisadores no laboratório e em um tubo de tipo industrial apenas. Os resultados obtidos com um reator monotubular tais como perda de carga, temperatura, rendimentos, taxas de conversão, tempo de residência, são geralmente extrapoláveis ao reator industrial. Podem-se inclusive simular os incidentes de funcionamento. Este método é aplicado para a oxidação do polipropileno a acroleína, do ortoxileno a anidrido ftálico, etc..

Outro caso, é a pesquisa de uma destilação com objetivo de minimizar o seu consumo energético. Numa pesquisa deste tipo procede-se a determinar o equilíbrio binário que servirá de base de cálculo para a futura coluna de destilação. Primeiramente, são efetuadas as determinações relativas ao equilíbrio líquido-vapor, quando não estão disponíveis na literatura. Este trabalho pode apresentar dificuldades, pois não é sempre simples obter uma fase líquida em equilíbrio com a fase-vapor. As análises carecem de precisão para baixas concentrações, sendo dificultoso calcular a volatilidade relativa quando um dos constituintes está numa região vizinha à sua sensibilidade analítica.

3.4 EXTRAPOLAÇÃO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS

* OPERAÇÕES FACILMENTE EXTRAPOLÁVEIS

Segundo já vimos, a catálise heterogênea em leito fixo tubular é fácil de se extrapolar, a partir de pilotos pequenos. Os resultados de um reator monotubular são extrapolados para reatores industriais de 8.000 a 1.200 tubos. Dados obtidos em estudos de destilação efetuados em laboratório em colunas de 30mm são extrapolados a colunas de 1.500mm, com relações de vazão 2500 vezes maiores. Igualmente, nas reações em fase homogênea, a cinética é medida com precisão. Os reatores podem ser calculados diretamente a partir de dados de laboratório.

É interessante destacar aqui, que a extrapolabilidade da catálise heterogênea não é uma extrapolação em si do reator. Aqui a extrapolação é obtida pela reprodução em paralelo do reator piloto monotubular, já conhecido na escala-piloto.

* OPERAÇÕES MEDIANAMENTE EXTRAPOLÁVEIS.

Em numerosos casos, apesar da aparente simplicidade, é necessário efetuar ensaios numa escala intermediária para se dimensionar com precisão os equipamentos industriais.

Exemplos disto são a extração líquido-líquido em coluna pulsante ou agitada, onde os efeitos da parede são importantes para a fluidização; em colunas de lavagem por pulverização, as quais não funcionam abaixo de um diâmetro mínimo; e sobretudo as operações complementares tais como a filtração, a lavagem e a secagem, as quais para serem testadas precisam de uma quantidade mínima de produtos.

A utilização de ferramentas matemáticas para modelização dos ensaios e o uso da experiência na resolução dos problemas que aparecem na hora de se efetuar a extrapolação, podem aliviar o trabalho nas unidades-pilotos.

* OPERAÇÕES DIFICILMENTE EXTRAPOLÁVEIS.

Algumas situações necessitam de grande prudência, pois o cálculo oferece poucos recursos. E o caso de uma reação exotérmica efetuada em fase sólida, por dispersão de um líquido sobre um sólido agitado por um malaqueador. Aqui a dificuldade de transferência térmica, o risco de grudar por compressão, obriga a não se poder elevar a escala de extrapolação em ordem maior do que 10 vezes. Os ensaios são conduzidos junto com o construtor do equipamento, o qual contribui para o desenvolvimento.

Existe também o problema dos materiais que são difíceis de testar em escalas reduzidas. É o caso de se efetuar testes para verificar a resistência de reatores revestidos. Neste caso a dimensão deve ser tal que permita visualizar os efeitos de dilatação diferencial entre o revestimento e o suporte. Em termos de materiais, devem ser tomados certos cuidados. Os estudos de corrosão dos materiais com as substâncias do processo, são significativos e de longa duração. Eles asseguram as condições reais de exploração produtiva com a durabilidade dos equipamentos. As modalidades assumidas na construção dos equipamentos de caldeiraria, as condições mecânicas, a turbulência dos fluidos, a permeabilidade dos revestimentos, a deformação das peças de grandes dimensões, tudo isso deve ser previsto e estudado em escala apropriada. Assim, é usual que a eleição dos materiais impõe a dimensão de certas partes da unidade-piloto, devido às limitações de origem mecânica e química dos materiais.

Todas as operações agitadas que exigem uma boa definição do regime de agitação, são uma dificuldade para a extrapolação. A exemplo disto, temos a operação de precipitação da sílica a partir de silicato de sódio com gás carbônico. Esta dispersão é inicialmente do tipo gás-líquido, que no início da polimerização forma um gel. Este gel é quebrado com agitação formando um sólido em suspensão dentro de um líquido, no qual continua-se injetando o gás carbônico. Na hora de se extrapolar, é difícil manter invariante a mesma condição na escala.

industrial que na piloto, para a dispersão líquido-gás e a suspensão no líquido do sólido formado. Ambos fenômenos são governados por funções matemáticas diferentes.

4. EXTRAPOLAÇÃO DE ESCALAS E SIMILARIDADE

O objetivo técnico da extrapolação é o de reproduzir na escala industrial os resultados de uma operação física ou química obtidos na escala-laboratório ou piloto. As técnicas de extrapolação são utilizadas não só para o desenvolvimento de um processo a nível da produção, seja para ajuste de um processo já existente na escala industrial ou na *intrapolação* do mesmo até uma escala-piloto para sua otimização.

Nos ocuparemos daquelas operações unitárias que são dificilmente extrapoláveis, sem a abordagem empírica. O caso mais geral destas operações é o das operações agitadas, que constituem o problema fundamental a ser enfrentado no estudo do caso. Dentro do espectro das operações agitadas, a fermentação é a operação mais complicada, sendo este o caso que inclui todos os casos de similaridade entre sistemas. Porém, sistemas químicos quaisquer constituem sérios desafios para o aumento de escala. As aplicações da agitação cobrem cinco grandes setores:

- . homogeneização: produção de uma fase única, uniformização da temperatura e de concentração
- . misturas líquido-sólido: suspensão
- . misturas líquido-líquido: emulsão, extração
- . misturas líquido-gás: gaseificação, aeração, fermentação
- . intercâmbio de calor.

As técnicas de extrapolação estão baseadas no princípio da similaridade, no qual a configuração de um sistema físico é função das relações existentes entre os grandes parâmetros, aqueles que definem um sistema e suas unidades de medida.

Nos processos físico-químicos mecanicamente agitados, cinco tipos principais de similaridade presentes quando é efetuada uma extrapolação.

.similaridade geométrica: isto significa que as relações das dimensões são as mesmas nas duas escalas, piloto e industrial. Esta é uma condição imperativa para os outros tipos de similitude.

. similaridade cinemática: significa que as relações das velocidade em dois pontos homólogos dos dois sistemas são idênticos.

. similaridade dinâmica: a similitude cinemática agrega a igualdade das relações das forças aplicadas a pontos homólogos de ambos sistemas.

. similaridade térmica e química: igualdade de concentração e de temperatura em pontos homólogos.

A similaridade entre o equipamento piloto e o equipamento industrial é expressa pela constância de uma a outra escala das relações entre as magnitudes de um ou vários parâmetros. Estas relações são definidas matematicamente a partir das equações que regem o sistema. Esta análise fornece os números adimensionais que exprimem as relações entre parâmetros da mesma natureza.

Se considerarmos, por exemplo, a similitude dinâmica na agitação, será necessário definir dois ou três números adimensionais, desde que o meio sob consideração contenha uma ou mais fases.

$$\text{Número de Reynolds: } \frac{\text{forças de inércia}}{\text{forças de viscosidade}}$$

$$\text{Número de Froude : } \frac{\text{forças de inércia}}{\text{forças de gravidade}}$$

$$\text{Número de Weber : } \frac{\text{forças inércia}}{\text{forças de tensão superficial}}$$

Suponhamos agora a necessidade de extrapolar um sistema de agitação homogêneo. Neste caso, a similitude dinâmica é conservada se os números de Reynolds e de Froude são mantidos constantes de uma escala para a outra. Mas aqui começam as contradições de conceito de similaridade. Se o fluido permanece igual nas duas escalas (peso específico e viscosidade constante), não poderá haver similaridade dinâmica nos dois equipamentos geometricamente similares porque o número de Reynolds impõe a velocidade de agitação (N) proporcional $1/D^2$, no entanto o número de Froude diz que N deve ser proporcional a $1/D$. Este exemplo ilustra a impossibilidade de se extrapolar os equipamentos de agitação com relação aos princípios de similaridade.

4.1 - O PRINCÍPIO DE SIMILARIDADE

O princípio de similaridade tem a ver com as relações entre sistemas físicos de diferentes tamanhos e isto é fundamental para o *scale-up* ou *scale-down* de processos físicos e químicos. Este princípio foi primeiramente enunciado por Newton para sistemas compostos por partículas em movimento. As primeiras aplicações foram efetuadas a sistemas fluidos, e foi neste campo que o tal princípio comprovou-se de utilidade. Perto de 1870, Froude aplicou critérios de similaridade para a predição de ondas de arraste sobre os casos de navios utilizando experimentos com modelos, até hoje utilizados.

Posteriormente Reynolds empregou modelos para estudar a erosão em estuários e bacias. Durante 1914 e 1915 houve desenvolvimento relacionado a trabalhos de Tolman, Buckingham Rayleigh e Riabouchinski, nos quais foram ampliadas as aplicações do princípio. A significância fundamental do princípio de similaridade foi debatida e ampliada. A partir daí, houve um enorme esforço na área de predição do comportamento do aumento de escala na aviação utilizando-se modelos. As teorias de modelos, tal como aplicadas à engenharia mecânica e civil, é relatada desde cedo num trabalho de Langhaar. Os usos principais do princípio de similaridade, foram relacionados com o desempenho de agitadores, turbinas e misturadores. Os primeiros trabalhos foram de Hixon e de Rushton. As primeiras aplicações do princípio de similaridade a sistemas químicos de reação são devidas a Darmkohler, Johnstone; Bosworth e Thring, sendo que Johnstone e Thring são hoje os autores mais reconhecidos como autores clássicos no assunto. O princípio de similaridade não deve ser confundido com o método de análise dimensional. Aquele é um princípio geral, no entanto, este último é somente uma das técnicas pela qual o princípio pode ser aplicado.

Os objetos materiais são caracterizados por três qualidades: tamanho, forma e composição. As tres são variáveis independentes. Dois objetos quaisquer podem deferir em tamanho, tendo igual forma e composição, ou eles podem ter forma idêntica e tamanho e composição diferentes.

O princípio de similaridade é mais apropriado para o conceito de forma quando aplicado a sistemas complexos e com as implicações do fato que a forma é independente do tamanho e da composição. Em termos mais precisos, o princípio de similaridade estabelece que:

A configuração espacial e temporal de um sistema físico é determinada por relações de magnitudes do próprio sistema e não depende do tamanho ou natureza das unidades nas quais as magnitudes são medidas.

O conceito de forma, aplicado a sistemas químicos envolve não

só as formas dos sólidos e superfícies e suas proporções geométricas, mas também de regimes dos fluxos de fluidos envolvidos, gradientes de temperatura, perfis de concentração, etc..

Similaridade Geométrica:

A similaridade geométrica pode ser definida como uma relação de correspondência. Se considerarmos dois corpos sólidos com suas três coordenadas espaciais x, y e z , para cada ponto coordenado (x, y, z) no primeiro corpo, existe uma coordenada (x', y', z') no segundo de tal forma que a relação entre $\frac{x}{x'} : \frac{y}{y'} : \frac{z}{z'} : R$: constante, podemos dizer que esses corpos são geometricamente similares. É possível que a cada ponto no primeiro corpo corresponda a mais de um ponto no segundo. Isto acontece quando o segundo corpo é composto por uma multiplicidade de elementos idênticos, cada um deles similar ao do primeiro corpo. Neste sentido, uma colméia de abelhas é geometricamente similar a uma única célula dodecaédrica. Não é necessário que a relação entre distância seja a mesma ao longo de cada eixo. A definição mais geral de pontos correspondentes é dada pelas equações:

$$\frac{x}{x'} : x \qquad \frac{y}{y'} : y \qquad \frac{z}{z'} : z$$

onde x, y e z são constantes e não necessariamente iguais.

A relação entre dois corpos nos quais as relações de escala são diferentes em diferentes direções, é chamada de similaridade distorcida.

A aplicação destes conceitos geométricos a plantas de processo, sugere vários tipos de diferentes aparelhos em pequena escala, que poderiam ser considerados similares a equipamentos de grande escala. Os aparelhos em grande escala são chamados protótipos ou pilotos. No entanto as cópias similares em pequena escala destes são chamados de modelos. Quando as relações de escala são distorcidas, existem protótipos que possuem estruturas múltiplas, compostas por elementos idênticos. Estes elementos em pequena escala são chamados de

elementos-modelo. Quando existe distorção são dominados elementos-modelos distorcidos.

Similaridade Mecânica:

A similaridade mecânica compreende a similaridade estática, a cinemática e a dinâmica.

- 1) Similaridade estática: a similaridade estática é relacionada com corpos sólidos sujeitos a forças constantes:

Corpos geometricamente similares, são estáticamente similares quando sob forças constantes, suas deformações relativas são tais que permanecem geometricamente similares.

A relação das correspondentes deformações nas duas escalas, será igual à relação linear de escalas, e os esforços nos pontos correspondentes será o mesmo.

- 2) Similaridade cinemática: a similaridade cinemática é relativa à sólidos e fluídos em movimento. No entanto, a similaridade geométrica envolve as três coordenadas espaciais; a similaridade cinemática introduz adicionalmente o tempo. Os tempos são medidos a partir de zeros arbitrários em cada sistema e os tempos correspondentes são definidos como tempos tal que $t/t' = \lambda$ onde t é o tempo modelo, t' o tempo do protótipo) onde λ é constante e representa a relação de escala de tempo. Diferenças entre pares de tempo correspondentes, são chamados de intervalos correspondentes.

Sistemas móveis geometricamente similares são cinematicamente similares quando partículas correspondentes efetuam

$$\frac{F'1}{F1} : \frac{F'2}{F2} : \frac{F'3}{F3} : \dots : \frac{F'n}{Fn} : F = \text{cte}$$

Para sistemas geométricamente similares nos quais as propriedades físicas e químicas dos componentes materiais são as mesmas, não é geralmente possível estabelecer mais do que duas relações entre três tipos de forças as quais seriam as mesmas em ambos sistemas.

Similaridade Térmica:

A similaridade térmica é relacionada a sistemas nos quais existe um fluxo de calor e é introduzida a dimensão temperatura além de espaço, força (ou massa), e tempo.

Sistemas geométricamente similares são termicamente similares quando diferenças correspondentes de temperatura tem uma relação constante a outra e quando os sistemas quando imóveis, são cinematicamente similares.

Em sistemas termicamente similares os padrões de distribuição térmica formados por superfícies isotérmicas em tempos correspondentes são geométricamente similares.

A relação das diferenças de temperatura correspondentes são chamados de relação de escala de temperatura.

A similaridade térmica requer que relações correspondentes de fluxo de calor tenham relações constantes ao outro fluxo similar. Se H_r , H_c , H_v e H_t representam as quantidades de calor transferidas por segundo por radiação, condução, convecção e transporte, respectivamente, através de um dado elemento de área de secção, então para a estabilidade térmica temos:

$$\frac{H'r}{H_r} : \frac{H'c}{H_c} : \frac{H'e}{H_e} : \frac{H'v}{H_v} : \frac{H'f}{H_f} : H = \text{constante}$$

Alternativamente em termos de relações intrínsecas:

$$\frac{H'r}{H'c} = \frac{Hr}{Hc} ; \frac{H'r}{H'v} = \frac{Hr}{Hv} ; \frac{H'r}{H'f} = \frac{Hr}{Hf}$$

Em geral não é possível manter as três relações constantes simultaneamente em todos os pontos e a similaridade térmica pode ser estabelecida somente quando quaisquer deles; radiação, condução ou convecção são desprezíveis.

Similaridade Química:

A similaridade química é relacionada com sistemas químicos reacionais nos quais a composição varia de ponto a ponto e em processos em *batch* ou processos cíclicos, de instante em instante.

Aqui não é introduzida nenhuma dimensão nova, mas existem um ou mais parâmetros de concentração, dependendo do número de variáveis de produtos químicos constituintes com relação aos quais a similaridade é estabelecida. Não é necessário que a composição química dos dois sistemas seja a mesma, só que existiria uma relação fixa entre concentrações pontuais e os constituintes com relação aos quais a similaridade é estabelecida.

Onde um sistema contém uma variável química constituinte A e outro sistema tem a variável constituinte B, e quando é desejado estabelecer relações de similaridade entre A e B, estas variáveis são chamadas de constituintes correspondentes. A diferença de concentração nos tempos correspondentes entre um par de pontos de um sistema, e aquela entre os pares correspondentes a pares de pontos do outro sistema são chamadas de diferenças correspondentes de concentração.

Sistemas geométrica e térmicamente similares são quimicamente similares quando diferenças correspondentes de concentração tem uma relação constante e quando os sistemas, se móveis, são cineticamente similares.

As relações entre as diferenças de concentração correspondentes, são chamadas de relações de escala de concentração.

As relações intrínsecas ou critérios que definem a similaridade química, além daqueles necessários para a similaridade cinemática e térmica são:

$$1) \frac{\text{Velocidade de formação química}}{\text{Velocidade de fluxo de massa}}$$
$$2) \frac{\text{Velocidade de formação química}}{\text{Velocidade de difusão molecular}}$$

Usualmente a segunda relação pode ser desprezada com relação à primeira.

Em teoria, a velocidade de uma reação química deve ser independentemente variada pela mudança da temperatura. Na prática, o equilíbrio químico e as velocidades relativas das reações químicas paralelas não desejadas também variam, ambas com a temperatura, e existe comumente um pequeno intervalo de temperatura no qual a reação deve ser conduzida tanto na pequena, como na grande escala para assegurar o máximo de rendimento. Em ambos, tanto no modelo, como no piloto, o tempo de reação deverá ser da mesma ordem, e estes requerimentos fixam as velocidades relativas em sistemas com fluxos contínuos.

Estas velocidades são incompatíveis com as velocidades necessárias para similaridade cinemática exceto a fluxos baixos a velocidades muito altas. Portanto, no *scale-up* de uma reação química contínua, e especialmente onde existe um tempo ótimo de reação fora do qual o rendimento da reação ou a qualidade do produto é reduzida, é vantajoso efetuar experimentos no modelo e no protótipo tanto na região de regime laminar como naquela de regime turbulento.

Se nenhuma das condições acima apontadas é viável (*feasible*), haverá um efeito imprevisível de escala e seria prudente efetuar o aumento de escala em vários estágios ou utilizar grandes fatores de

segurança no projeto da instalação industrial.

4.2 - ANÁLISE DIMENSIONAL

A análise dimensional é uma técnica para expressar o comportamento de um sistema físico em termos de um número mínimo de variáveis independentes de tal forma que não é afetada por mudanças na magnitude das unidades de medição.

Na engenharia química os grupos adimensionais são utilizados extensivamente como um caminho conveniente de correlacionar dados científicos e de engenharia. Estes grupos adimensionais são de grande utilidade para se estabelecer as condições de extrapolação de um processo.

Eles representam regras para efetuar o aumento de escala de um processo. Para se efetuar a extrapolação de um processo, usualmente é necessário projetar o equipamento-piloto de tal forma que os efeitos de alguns grupos destes números fiquem reprimidos em favor de um deles específico. Isto é devido ao conflito entre diferentes números adimensionais com o aumento da escala, tal como já foi explicado.

Os sistemas físicos podem ser classificados como estáticos, dinâmicos, térmicos, químicos, etc.. Um trocador de calor, por exemplo, constitui um sistema estático com relação às tensões físicas, às quais são submetidos seus tubos, espelho, e outros constituintes do equipamento. Ele mesmo é um sistema dinâmico com relação ao fluxo que por ele circula e como relação à sua perda de carga. É um sistema térmico com relação à troca de calor através de tubos, e por último é um sistema químico com relação a corrosão dos tubos. Assim, todos os sistemas por simples que pareçam, no seu comportamento físico-químico, podem ser classificados frente a extrapolação, como sistemas múltiplos. Aqui é que começa o drama da extrapolação. Os princípios de similaridade a considerar serão diferentes dependendo quais dos efeitos que deseja-se estudar. Os critérios de similaridade adimensionais (números de Reynolds, Froude, Weber, etc.) são relações de quantidades físicas, as quais são funções de várias forças de resistência que controlam a velocidade de reação. Quando trata-se de grandes diferenças

de escala, o aumento da mesma incompatibiliza os três critérios fundamentais já apontados, e relacionados como a resistência ao movimento de fluido (Reynolds), as forças gravitacionais (Froude), e as forças de tensão superficial (Weber). O conceito de sistemas homólogos permite efetuar um estudo da analogia de ambos sistemas.

Nos sistemas homólogos, quantidades correspondentes são relacionadas somente em termos da relação de escala L . Estes sistemas são identificados como sistemas nos quais:

1. As formas dos componentes sólidos e das superfícies que encerram massas fluídas são geometricamente similares.
2. As composições químicas e as propriedades físicas nos pontos correspondentes são idênticas.

Para sistemas homólogos de diferente magnitude absoluta, os três critérios são mutuamente incompatíveis, pois cada um deles requer que a velocidade do fluxo varie como uma função diferente da função linear:

- para o número de Reynolds, Velocidade $\propto L^{-1}$
- para o número de Froude, Velocidade $\propto L^{1/2}$
- para o número de Weber, Velocidade $\propto L^{-1/2}$

Utilizando fluidos com propriedades físicas diferentes nas duas escalas e selecionando apropriadamente a relação de escala, é possível, dentro de certos limites, satisfazer dois critérios simultaneamente, mas raramente os três. Assim, para a extrapolação de um processo físico ou químico complexo, é vantajoso escolher condições tais que a velocidade total do processo dependa predominantemente de um dos números adimensionais.

4.3 - O CONCEITO DE REGIME

O conceito de regime é importante para se definir condições reprodutíveis que permitam dominar uma reação química em particular. Este conceito permite distinguir a velocidade determinante do processo em um sistema no qual outras reações em série ou em paralelo acontecem.

Em termos estáticos, o conceito de regime distingue os fatores que governam o deslocamento de uma reação.

A resistencia encontrada ao acontecimento de uma dada reação química acontecendo sobre um catalisador, pode ser apresentada de uma forma simplificada, porém didática, como composta por dois fatores principais:

- * Em primeiro lugar a resistência a conversão química das matérias-primas no produto.
- * Em segundo lugar a resistência à difusão dos reagentes dentro do catalisador, e à difusão do (s) produto(s) para o exterior do mesmo.

Quando o fator determinante da velocidade total da reação é a resistência à conversão química (esta é a menor velocidade e é determinante da velocidade total da reação), é dito que se está em regime químico. Quando quem controla é a resistência à difusão é dito que o regime é dinâmico. Assim, se o regime determinante é dinâmico as relações para a extrapolação são chamadas de similaridade dinâmica, e quando o regime é químico, a similaridade é química. Quando a velocidade determinante do processo é a própria transferência de calor, o regime é chamado de térmico e a similaridade a adotar para o *scale-up* é a térmica. Em uma reação química que é controlada por regime dinâmico, o aumento da agitação do meio, poderia eventualmente diminuir a resistencia à difusão, a tal ponto, que a resistência à conversão predominaria, e assim o regime se tornaria químico. Entre os dois tipos de regime define-se o regime misto.

Segundo Johnstone e Thring, o *scale-up* e o *scale-down*³⁾ de um processo físico ou químico complexo, requer duas condições fundamentais:

1. O regime deve ser relativamente *puro*. Ex: a velocidade de reação deve depender de um único grupo a dimensional.
2. O regime deverá ser o mesmo na pequena e na grande escala.

A primeira destas condições já foi discutida. A segunda requer que, no planejamento dos experimentos programados na planta-piloto, as condições industriais sejam constantemente levadas em consideração. A mudança de regime acontece justamente quando é necessário extrapolar a relação de similaridade.

4.4 - SIMILARIDADE E EQUAÇÕES DE ESCALA

Já temos estabelecido a partir da bibliografia os princípios de similaridade entre escalas. Temos também descrito as limitações para extrapolar condições que mudam com a escala. O conceito de regime permite, usando a experimentação, dar preferência ao domínio do processo por condições que privilegiam um ou dois números adimensionais.

Agora estabeleceremos a relação entre os critérios de similaridade com aquelas magnitudes de importância da engenharia química com a finalidade de correlacionar estas relações com os fatores de escala. Por conveniência, cada critério é seguido por várias equações de escala, dando as relações entre quantidades correspondentes, onde existe similaridade. Resumindo de Johnstone et alii, têm-se que as relações para o controle de sistemas estáticos, controle de carga, massa, regime misto, sistemas de fluídos em geral, controle por viscosidade, por gravidade, e por tensão superficial podem ser expressa como uma função da relação de escalas.

A nível de regime químico é estabelecida a relação entre similaridade e velocidades de processo (reações), controle por ação de massa (reações homogêneas), controle de superfícies (reações heterogeneas) e regime misto.

Sejam A e A' dois sistemas similares e sejam os seguintes casos:

Regime Dinâmico

onde;

v: a relação das velocidades do fluido em pontos correspondentes dos dois sistemas

q: a relação das velocidades volumétricas totais

ΔP : a relação da queda de pressão (perda de carga) entre dois pontos homólogos de cada sistema

L: e a relação linear de escalas

N: relação das velocidades angulares em ambas escalas para um móvel de agitação similar

S: relação das superfícies interfaciais específicas entre ambas escalas

Colocando os parâmetros acima para sistemas fluídos observa-se sua dependência em relação de proporcionalidade com o fator linear de escala:

RELAÇÃO CONSIDERADA	CONTROLE DO SISTEMA		
	Viscosidade (Reynolds)	Gravidade (Froude)	Tensão Sup. (Weber)
v	$1/L$	VL	$1/VL$
q	L	$L^{2,5}$	
ΔP	$1/L^2$	L	
P	$1/L$	$L^{3/5}$	
N			$L^{3/2}$
S			$1/L$

Regime Térmico

onde;

ΔT : relação das diferenças térmicas entre pontos correspondentes em ambas escalas

H: relação entre as taxas de transferência líquida de calor em ambas escalas

h: coeficientes de transferência de calor em ambas escalas

v: relação das velocidades do fluido em ambas escalas

Q: relação das quantidades de calor dispendida por unidade de área

Considerando as relações acima, observa-se para o caso de regime térmico, sua dependência de fator de escala:

RELAÇÃO CONSIDERADA	FORMA DE CONTROLE	
	Por convecção	Por radiação
ΔT	$1/L^3$	L^2
H	$1/L^2$	
h	$1/L$	
v		$v=1$
Q		$kT/W=1$

Regime Químico

onde;

v : relação de velocidades entre sistemas homólogos

H : perda de calor por unidade de área

q_v : fluxo volumétrico total

J : perda total de calor por unidade de tempo através das paredes do reator

V : volume reacional

S : relação de velocidades espaciais

Considerando as relações acima, observa-se para o caso de regime químico, sua dependência do fator de escala:

RELAÇÃO CONSIDERADA	TIPO DE REAÇÃO	
	Homogênea	Heterogênea
v	L	$v:1$
H	HL	$H1$
q_v	$q_v L^3$	$q_v: L^2$
J	$J:L^3$	
V	$V:L^3$	
S		$S:1/L$

NOTAS CAPÍTULO II

1. Uma bibliografia consultada para efetuar o estudo foi o livro de Lellouch, J., Lazar, P., *Methodes Statistiques en Experimentation Biologique*, 1974.

2. Suckling, C.W., publicou um trabalho de importância para o estudo da função das unidades pilotos em grandes complexos industriais. Vide Suckling, C.W., *The Function of Pilot Planting in a Large Chemical Complex*, ICI Mond Division, at Symposium on Scale-Up, Manchester, 1969.

3. Entende-se por scaling-down ou intrapolação, a operação inversa à extrapolação em termos de aumento de escala. A intrapolação serve como meio de estudar a redução de escalas de processos já extrapolados. Este é o caso de um processo de produção a ser implantado num país que por razões de tamanho do mercado requer uma planta menor que aquela instalada no país de origem. Uma referência para scaling-down é dada na bibliografia, Vide Aronson, G., 1987.

4. Entende-se por trabalho real aquele que o trabalhador dá realmente ao capitalista como equivalente pela parte do capital transformada em salário, pelo preço de aquisição do trabalho, (Vide Marx, *El Capital*, Capítulo VI, inédito, edição 1971, p. 11). Este consiste no trabalho realmente executado pelo trabalhador, e difere daquele do trabalho prescrito, que é o requerido para que o trabalho real se execute de acordo com os objetivos da produção. O trabalho prescrito é aquele que está inscrito nas instruções de operação de máquinas, no fluxograma de produção de um determinado produto numa linha de produção e nas condições de operação das máquinas.

De fato que a diferença entre o trabalho real e o prescrito está, em que, o trabalho prescrito é fundamentado em bases científicas e conhecimentos empíricos parciais que não consideram todas as possíveis variáveis do trabalho. As consignas prescritas de operação de uma máquina não mudam, mas a composição de uma tarefa determinada muda, com a mudança do operador, com o nível de cansaço deste, etc. A execução em si da tarefa é trabalho real. Vide Napolioni, C., 1981.

A prescrição do trabalho é uma das primeiras medidas necessárias para se obter a coletivização do trabalho, onde mediante a prescrição é controlada o nível de variabilidade do trabalho real, com a colaboração informal dos trabalhadores, Vide Daniellou, F., et alii, 1983.

5. A divisão do trabalho entre intelectual e manual de fato que existe até em P&D, mas ela é menos aprofundada que em qualquer outro tipo de atividade, provavelmente devido a que o trabalho de P&D é em sua essência constituído de trabalho intelectual, criativo. Mesmo assim, apesar de ser mais intelectual que manual, ele mesmo tem uma pequena proporção de trabalho manual que é executado em alguns casos por pessoas já designadas para isso (divisão do trabalho). Mesmo assim, devido à pouca prescrição do trabalho de P&D, é muito comum que a divisão não seja clara e os papéis da divisão do trabalho sejam transpostos e não respeitados como em outra atividade qualquer.

6. O trabalho de Erdmann, H.H., et alii, 1985, qual trata dos problemas de projeto de um novo processo produtivo, aponta algumas regras heurísticas da própria química que são utilizadas na engenharia química.

CAPÍTULO III
ESTUDO DE CASO

**ESTUDO DO PROCESSO INOVATIVO E DA EXTRAPOLAÇÃO DO PROCESSO
SÍLICA VIA ANIDRIDO CARBÔNICO NO CENTRO DE PESQUISA DA
RHODIA**

1. O CONTEXTO INSTITUCIONAL E HISTÓRICO DO PROJETO

1.1 - A EMPRESA RHODIA S/A

A fundação da empresa Rhodia S/A no Brasil teve uma história relacionada a uma questão bem brasileira: o carnaval. No início do século, a Société Chimique des Usines du Rhône (mais tarde conhecida como Rhône Poulenc), já exportava para o Brasil o famoso lança-perfume. Em 1909, o Brasil importou mais 600.000 unidades do produto. Em 1914, foram aumentados os impostos alfandegários, razão, pela qual a empresa decidiu investir no país na produção do lança-perfume. Em julho de 1914, a empresa adquiriu em Santo André, Estado de São Paulo, uma área de 44000 m², que seria destinada à produção. Devido à Primeira Guerra Mundial, o projeto sofreu um atraso até o ano de 1919. O nome dado à empresa foi Rhodia (adaptado do nome do rio Rhône -o Ródano, em português-). Nesse ano, os primeiros equipamentos necessários para a nova fábrica foram importados da França. O projeto visava a produção de ácido sulfúrico, ácido clorídrico, cloreto de etileno, lança-perfume e sulfatos de sódio e de cálcio (gesso) (Revista Rhodia). Já no carnaval de 1922, foram colocados no mercado os primeiros lança-perfumes de fabricação nacional.

Posteriormente os projetos de expansão foram numerosos; em 1929 foi implantada a fábrica de fios de acetato em Santo André; em 1935, foi instalada a companhia Valisère. Durante a Segunda Guerra Mundial, foram suspensas as importações de matérias-primas da Europa, utilizadas pela Rhodia para sua linha de produção. O abastecimento de álcool etílico, que vinha de Pernambuco, estava comprometido em razão do bloqueio, pois o governo obrigava a utilizá-lo como carburante. O álcool etílico era uma matéria-prima fundamental para a produção de ácido acético, matéria-prima-chave para a produção de polímeros têxteis. Assim, a solução foi a fabricação da própria matéria-prima. A Rhodia adquiriu 5000 hectares de terra em Paulínia, Estado de São Paulo, destinadas ao plantio de cana-de-açúcar para alimentar uma destilaria de álcool. Após a Guerra, o consumo de produtos têxteis foi

diversificado, aumentando-se a exigência por novos tipos de matéria-primas. Assim, em 1949, foi inaugurada em São José dos Campos, Estado de São Paulo, uma unidade de fibra raion, em 1952 foi aumentada a capacidade de planta têxtil, e em 1955 iniciou-se em Santo André, a produção de fibras de nylon. Em 1956 inicia-se a implantação do complexo industrial de Paulínia, o qual constitui hoje a maior instação do grupo Rhodia. Este foi inicialmente destinado à produção de matérias-primas essenciais para a fabricação de nylon e medicamentos . O polo industrial de paulínia produz hoje em torno de 500 produtos diferentes, que vão desde vacinas de uso veterinário, matérias-primas têxteis, produtos de química fina, tintas, solventes, e aditivos químicos minerais, entre outros.

O grupo Rhodia é hoje constituído por 20 empresas no Brasil, das quais 18 controladas e duas coligadas. A empresa é hoje a primeira colocada no *ranking* de faturamento entre as indústrias químicas do país. Em 1983 seu faturamento era de 13 bilhões de dólares anuais. A composição do quadro funcional da empresa em 1983 era de 7% de executivos (pessoal de nível universitário no total de 950), 36% mensalistas e 57% horistas operacionais, sobre um total de 13.281 empregados. O faturamento em 1984 distribuíam-se assim: 49% atividade química (37% química de base e 12% especialidades químicas), 29% em fibras têxteis e industriais, 8% em saúde humana e animal, 4% na agroquímica e 10% nas outras atividades: não tecidos e filmes de poliéster.

Em 1975 foi criado o Centro de Pesquisas da Rhodia, obedecendo, por um lado, a política nacional de incentivo à pesquisa e desenvolvimento (abatimento no imposto de renda). Uma segunda razão foi iniciar estudos de identificação e isolamento de substâncias ativas e naturais da flora brasileira. Posteriormente o Centro de Pesquisas cresceu, tendo em 1979, a estrutura do Departamento de Substâncias Ativas Naturais, o Departamento de Síntese, o Departamento de Estudos Piloto, o Departamento de Estudos Analíticos e o pessoal de apoio técnico e administrativo necessário: manutenção, biblioteca, almoxarifado, administração, etc..

No Centro de Pesquisas foram investidos até o ano de 1983, 40 milhões de dólares em ativo fixo. A empresa investia em 1983 cerca de 10 milhões de dólares ano em pesquisa, distribuídos entre o próprio Centro -utilizado por toda a empresa-; a divisão têxtil de Santo André, com seu centro de pesquisas em fibras sintéticas e polímeros e especialidades químicas (Santo André); a Estação Agrícola Experimental de Paulínia e um grupo de pesquisa em química de base.

A empresa empregava 584 pessoas no setor de pesquisas, das quais 87 de nível superior, a maioria delas com título de doutorado. Do total, a metade (a grosso modo) pertencia ao Centro de Pesquisas em 1983. (Informações Rhodia,).

1.2 - O CENTRO DE PESQUISAS E SUAS ATIVIDADES

O Centro de Pesquisas teve como tarefa inicial não somente efetuar pesquisas voltadas às necessidades produtivas e estratégicas da Rhodia, mas também para a formação de recursos humanos. Esta tarefa foi fundamental para se criar uma espécie de cultura industrial do Centro em Pesquisa Aplicada. Uma das atividades desenvolvidas foi a de pequenas produções. Nesta atividade eram produzidos produtos de química fina necessários para as fábricas do grupo (escalas de até centenas de litros), e usualmente com dificuldades de importação, devido a impedimentos alfandegários.

1.3 - DISPONIBILIDADES DO CENTRO DE PESQUISAS

O Centro dispunha em 1980 no Departamento de Estudos Pilotos, de equipamentos necessários para efetuar estudos de operações unitárias em escala piloto; diversos reatores de 200 até 500 litros, colunas de destilação, reatores de leito fixo, dirigidos a estudos de extrapolação de processos *scale-up* e pequenas produções.

No Departamento de Sínteses existiam os equipamentos

necessários para o estudo em escalas de bancada e piloto de processos de síntese orgânica e inorgânica. Neste Departamento foram desenvolvidos dois projetos de envergadura, os quais foram patenteados: o projeto PTBF (para tércio-butil fenol) e o projeto sílica via andrido carbônico. O investimento em Pesquisa e Desenvolvimento no primeiro, superou o milhão de dólares e no segundo a casa dos seiscentos mil. O projeto PTBF foi implantado em Paulínia, em 1985, e o segundo, ficou engavetado esperando sua vez, sendo objeto do presente estudo.

O Departamento de Substância ativas Naturais possuía todos os elementos técnicos necessários para o isolamento e purificação de substâncias naturais a serem posteriormente testadas na França em termos de atividades farmacológicas.

O Departamento de Pesquisas Analíticas constituía já naquela época um dos mais equipados laboratórios analíticos do Brasil e prestava apoio analítico aos outros três departamentos do Centro e especificamente a cada projeto sob desenvolvimento. A nível de fábrica prestava o apoio na solução de problemas relacionados com o controle de qualidade de produtos, especificações, estudos de corrosão, formulações de produtos específicos, etc..

1.4 - OS RECURSOS HUMANOS DO CENTRO

Os Recursos Humanos do Centro de Pesquisas provinha das mais diversas formações, tanto dentro de casa (da própria Rhodia), da matriz (Rhône Poulenc), pesquisa acadêmica, universitários recém-formados, serviços de controle de qualidade, quadro de engenharia da empresa e escolas técnicas.

A nível hierárquico, o centro de pesquisas estava dirigido por um engenheiro francês, com grande experiência no gerenciamento de fábricas, resolução de problemas na produção e uma visão completa e estrutura dos problemas e oportunidades do grupo Rhodia, mas esta pessoa não tinha experiência específica em pesquisa e desenvolvimento.

O Departamento de Estudos Pilotos estava chefiado por um engenheiro brasileiro, com experiência em projetos e produção, tendo como auxiliares assessores de pesquisa de nível superior: um engenheiro químico formado na Bulgária, um engenheiro com experiência em produção em outras empresas brasileiras e um químico com experiência em desenvolvimento analítico, todos de nacionalidade brasileira. O corpo de colaboradores de pesquisa era formado por operadores com experiência em unidades industriais e técnico-químicos formados na Escola Técnica ETECAP de Campinas e estagiários¹⁾.

O Departamento de Sínteses era formado por um chefe de Departamento francês, com doutorado em engenharia química, uma engenharia química com aperfeiçoamento na França, um engenheiro químico com aperfeiçoamento na Alemanha ambos brasileiros, um engenheiro mecânico italiano, dois químicos argentinos com curta experiência acadêmica e industrial e um químico brasileiro com formação dentro da própria Rhodia. A equipe de colaboradores compreendia fundamentalmente técnicos recém-formados da escola ETECAP e estagiários, alguns operadores da fábrica com habilidades para trabalhos-piloto e supervisores de planta dirigidos para lideranças de turno em plantas-piloto. Este departamento, à diferença dos outros, tinha estruturado um pequeno grupo de apoio técnico que efetuava compras e fornecia equipamentos seguidos pelas equipes, e outro que efetuava as montagens de pequenos aparelhos de controle, montava os pilotos de bancada, os instrumentava, era formado por duas pessoas e estas eram chamados em bom francês de *bricoleurs*. Cabe destacar que todos os elementos da equipe não tinham experiência em pesquisa e desenvolvimento de processos, isto é, pesquisa aplicada.

O Departamento de Pesquisas em Substâncias Ativas Naturais era chefiado por um bioquímico francês com experiência na área e especialmente em pesquisa. A equipe era formada por um doutor em farmácia, um mestre em eletroquímica e técnicos com experiência em operações de extração e purificação de substâncias e técnicos recém-formados da Escola ETECAP, todos brasileiros.

O Departamento de Pesquisas Analíticas era chefiado por um doutor em bioquímica francês, com experiência em pesquisas analíticas. A equipe de assessores de pesquisas era formado por um doutor em química, um mestre em química, ambos brasileiros, um doutor em espectrometria de massas americano e um químico argentino. O quadro intermediário de colaboradores consistia em seis químicos recém-formados na Universidade de Campinas, e técnicos experientes em controle de qualidade e análise instrumental. Os colaboradores destes eram técnicos químicos recém-formados da escola ETECAP, técnicos de fábrica e estagiários.

Dentro de cada departamento existiam encarregados de análises de acompanhamento dos estudos pilotos. Assim eram feitas análises em cromatografia gasosa, espectrofotométricas, via úmida e análises físicas. Quando os requisitos do estudo pretendiam maior precisão, desenvolvimento analítico ou recursos não disponíveis dentro do departamento, solicitavam-se serviços ao Departamento de Pesquisas Analíticas.

Como estrutura de apoio aos departamentos, existia um grupo que efetuava tarefas de manutenção e de grandes montagens nos laboratórios, mudanças de instalações, e *pequenos inventos a pedido*. O chefe era um técnico-mecânico brasileiro com 20 anos de experiência em manutenção industrial e com grande habilidade para adaptar-se a idéias e a toda e qualquer contingência em prazos curtos e com baixo custo.

Em termos de apoio direto a pesquisa, existia uma biblioteca bem montada, com a coleção completa dos Chemical Abstracts e grandes enciclopédias da engenharia, e onde eram expostas as publicações sob assinatura, como ainda hoje acontece. A biblioteca tinha um serviço ligado a sede da empresa no Centro Empresarial de São Paulo, por sua vez ligado via terminal com o centro de informação da empresa na França. Mediante este mecanismo eram solicitadas informações bibliográficas sobre processos, técnicas analíticas e levantamentos bibliográficos completos e as informações eram obtidas em prazos breves. Na própria biblioteca existiam duas tradutoras e uma pessoa que traduzia alemão, francês, inglês e russo.

Existia também um serviço de apoio a ensaios. Era chefiado por uma engenheira francesa e sua função era ajudar na programação de ensaios por computador, na escolha dos intervalos de validade dos parâmetros de otimização, nos ensaios de orientação, de sensibilidade de parâmetros, nos testes de confiabilidade de resultados e nos testes Probit.

Sempre houve no Centro de Pesquisas um Gerente Administrativo, o qual cuidava das questões relativas à logística necessária para o andamento das pesquisas. Em 1982-83 implantou-se junto a essa gerência, um setor de gestão da pesquisa. Esse serviço significou o início do sistema descentralizado de pagamento das pesquisas, onde cada Divisão pagava as pesquisas previamente negociadas, sendo estas controladas em termos técnico-financeiros por cada Divisão.

Este período representou uma nova etapa *institucional* do Centro de Pesquisas. Aqui entraram em jogo novas regras, novas relações e novos atores. Significou uma importante ruptura a nível das relações estabelecidas durante o controle centralizado das pesquisas financiadas diretamente pela Superintendência da Rhodia. A liberdade de pesquisar e *aprender a pesquisar* quase total dos primeiros anos do Centro de Pesquisas foi esfacelada pelo controle dos resultados esperados efetuado pelo controle divisional. Isto foi realmente marcante no estudo Sílica via Andrído Carbônico. O tipo de gestão abordado inexperientemente pela Divisão Química Mineral num assunto onde era difícil diferencial (pela natureza do assunto sílica) inovação e invenção quase leva ao fracasso total da pesquisa.

Desenvolver um processo em condições adversas era subjuguante, se for pensado em termos de sucesso para se legitimar o Centro de Pesquisas e assim ganhar clientes *institucionalizados*. Por outro lado o *fracasso* não seria tal, pois o investimento em pesquisa e desenvolvimento poderia ser explicado como necessário para a formação de recursos técnicos e humanos. O resultado final seria a criação de uma memória técnica dentro do centro tanto em pesquisa aplicada como no assunto sob estudo. Isto seria fácil de explicar, pois a decisão de

montagem era da Superintendência da Rhodia e quem pagava era ela mesma. As explicações dadas as Divisões sobre o desenvolvimento do Centro deveriam ser efetuadas em termos de resultados financeiros. Mesmo quando os resultados não foram totalmente bem sucedidos, conseguiu-se inúmeras vezes, continuar planos da pesquisa pela simples mudança do problema. Isto é, apresentando outro problema como dominante.

2. A IDÉIA DE DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO SAC²⁾

Nos anos de 1970, a empresa-matriz (Rhône Poulenc), efetuou um curto estudo de orientação sobre as possibilidades de desenvolvimento de um processo de produção de sílica precipitada via anidrido carbônico. A idéia foi abandonada rapidamente. A decisão de desenvolver um processo por essa via obedeceu aparentemente a interesses estratégicos. Naquela época, a Rhône Poulenc já tinha implantado o processo sílica via sulfúrico em diversos locais. A possibilidade de se ter um processo do tipo SAC²⁾ era provavelmente importante, já que um importante concorrente da empresa, a Di PPG (), produzia nos Estados Unidos da América, sílica precipitada com um processo SAC. Por outra parte, o produto obtido pelo processo SAS da Rhône Poulenc era naquela época, de inferior qualidade àquele produzido pelo mesmo tipo de processo pela maior concorrente Européia: a Degussa (Deutsch Gold und Silber-Scheideanstalt Vormals Roessler).

No Brasil, a Rhodia montou uma unidade industrial mas com tecnologia Degussa. Aparentemente esta foi uma forma de negociar a entrada de uma única empresa no mercado na forma de joint-venture. A maioria acionária do empreendimento era da Rhodia (51%), mas dependendo do processo SAS³⁾ da Degussa.

A idéia de desenvolvimento de um processo SAC obedeceu a blocos de interesses, tendo como principais atores o gerente do Centro de pesquisas, o Chefe do departamento de Sínteses do Centro de

Pesquisas e o Gerente da Fábrica de Sílica via Sulfúrico de Paulínia⁴⁾.

Existiam três razões apontadas em diversos documentos da empresa (Soltermann, O.E., 1983, ref. 01):

1. Existência das fábricas de produção de Silicatos de Sódio e de Sílica via Sulfúrico em Paulínia.

A presença de uma fábrica de silicato de sódio era um fator importante devido a que esta é a matéria-prima fundamental para um possível processo de produção de sílica via anidrido carbônico. Essa mesma fábrica era a fornecedora de matéria-prima (silicato alcalino) para a fábrica de sílica via sulfúrico, instalada no próprio complexo industrial de Paulínia. O fato de existir uma fábrica já funcionando de SAS era interessante, pois em caso de desenvolvimento de um processo SAC, seria fácil de aproveitar (a princípio) as instalações com a introdução de algumas mudanças.

Um fato que levou a pensar num *ácido alternativo* para precipitar sílica foi a crescente demanda por ácido sulfúrico sem perspectivas do aumento da capacidade de oferta no curto prazo no Brasil. O processo SAS é altamente consumidor de ácido sulfúrico (0.66 ton ácido/ton de sílica). Além do próprio consumo unitário, era importante naquela época a nível do consumo: 10.000 ton/ano. Desde o final dos anos 70, o ácido sulfúrico foi uma matéria-prima em falta no mercado brasileiro e as previsões em função da crescente demanda eram de aumento de sua cotação. As políticas de importação de commodities e matérias-primas eram um tanto remotas naquela época devido à política de comércio exterior seguida pelo governo federal. Cabe destacar a importância do custo relativo desta matéria-prima na produção de sílica pelo processo SAS.

Segundo apontado nos relatórios, não era uma boa estratégia naquela época continuar produzindo com as possibilidades do preço do ácido sulfúrico sofrer grande elevação no mercado interno seguindo a grande demanda do mesmo e a política de não-importação adotada pelo governo brasileiro.

2. Existência de anidrido carbônico não-valorizado no próprio complexo industrial de Paulínia.

O *reforming*⁵⁾ instalado em Paulínia gera como subproduto o anidrido carbônico. Parte deste é vendido à empresa *Liquid Carbonic Industries*, que o purifica, liquifica e o distribui para uso em indústrias de bebidas carbonatadas. O restante era emitido à na atmosfera. Em 1979, a quantidade liberada ao ar era de 31000 ton/ano. A possibilidade de substituir o ácido sulfúrico na produção de sílica pelo anidrido carbônico (ácido carbônico) ainda que fosse parcialmente, significaria uma economia importante de recursos, valorizaria o anidrido carbônico excedente, reduzindo também o impacto ambiental pela diminuição da emissão do gás.

3. A existência de algumas patentes da Pittsburg Plate Glass CO (PPG), sobre processos de produção de sílica precipitada com anidrido carbônico.

A existência de uma unidade da dita empresa funcionando nos EUA, ajudou na decisão de iniciar o estudo do Centro de pesquisas da Rhodia. Estas razões foram apontadas com as objetivas. Convém destacar que estes eram problemas que podem ser considerados como dominantes para a estratégia dos atores envolvidos. Porém, estes problemas apresentados como dominantes obedeciam à estratégia do pessoal do Centro de Pesquisas. O fato deste ser tão jovem dava pouca importância dentro da própria empresa aos seus pesquisadores e aos grupos de pesquisa dentro da empresa.

Tomar assuntos que tinham relevância para pesquisa no tempo em que o investimento era a fundo perdido visando a formação de pessoal, mostrando resultados técnica e financeiramente importantes significaria a legitimação dos pesquisadores envolvidos. Não é por acaso que, em 1980, os dois assuntos de pesquisa mais relevantes do Centro pertenciam ao departamento de Sínteses e já tinham sido abandonados na França pela sua inviabilidade: o Para-Tércio-Butil-

Fenol, e a Silica via Anidrido Carbônico. Mas os dois foram posteriormente desenvolvidos e patenteados, um deles implantado em 1985 e o outro engavetado para um momento mais apropriado.

Existem por assim dizer três questões não ditas⁶⁾:

- * A necessidade de se legitimar o Centro de Pesquisas dentro da Rhodia e, se possível, a nível do Grupo Rhône Poulenc.
- * A importância estratégica que teria para a Divisão Química Mineral ter um processo SAC desenvolvido que permitisse mudar o processo SAS (Degussa). Neste caso, a segunda empresa não teria saída, a não ser a venda do seu capital acionário à Rhodia.
- * A disputa científica matriz/filial: desenvolver processos que tinham sido deixados de lado na matriz como *inviáveis*, dariam ao Centro de Pesquisas um prestígio a nível internacional. Esta estratégia foi seguida a risca tal como apontado acima.

De fato, estes fatores não tinham sido explicitados, pois, faziam parte da política implícita do Centro de Pesquisas. Outra coisa era a política para o Centro de Pesquisas que primava em cada assunto de pesquisas. O Centro de Pesquisas de Paulínia era novo e existia o interesse em 1978 de iniciar pesquisas de projetos de grande volume por parte do próprio gerente do centro. As características deste ator fundamental no futuro do projeto SAC e do próprio CP eram as de um empreendedor que pelo seu próprio prestígio dentro da empresa conseguiu o apoio para as atividades de pesquisa. Isto não ficou imutável, pois em 1983 houveram mudanças políticas importantes que inverteram algumas posições. O convencimento de que a idéia SAC era uma boa escolha para pesquisa e desenvolvimento pelas razões apontadas explicitamente, foi o suficiente para iniciar os ensaios de viabilidade no Centro de

Pesquisas. Apesar da discordância inicial da Gerência da Divisão Química e Mineral na Rhodia, o estudo continuou com o apoio do pessoal da fábrica de Paulínia. O desenvolvimento de um processo que já tinha sido descartado na França, tinha *politicamente* seus inconvenientes, mas se bem sucedido suas vantagens:

-
- * Formação de recursos humanos em pesquisa aplicada.
 - * Desenvolvimento de um assunto dentro do Centro de Pesquisa que criaria um grupo de trabalho em sílica. A Rhodia já produzia sílica.
 - * A importância estratégica de não depender do fornecimento de tecnologia nem do preço do ácido sulfúrico no mercado interno. A utilização de anidrido carbônico, permitiria inclusive a produção sílica a preços competitivos comparado com o processo da Degussa (SAS).

 - * A possibilidade da Rhodia se liberar do sócio incômodo da unidade SAS que detinha 49% do capital e era depositário da tecnologia sob uso. A mudança de processo daria à Rhodia possibilidades de mudar sua composição societária de forma conveniente. Em caso de saída, o sócio veria desestimulada a implantação de uma nova fábrica devido às barreiras à entrada no mercado, provocadas em parte pela capacidade instalada (superior ao mercado nacional) e preço competitivo de um eventual processo sílica via anidrido carbônico.

3. NATUREZA TÉCNICA E RELAÇÕES PROFISSIONAIS

O Projeto SAC durou cinco anos. Foi um dos projetos tecnicamente mais complicados desenvolvidos no Centro de pesquisas. Durante o mesmo, houve grandes mudanças no quadro organizacional da pesquisa, mudanças de atores e redes de relacionamento, do engajamento

institucional e das articulações interpessoais, tanto formais como informais.

A forma de se estudar a articulação entre o *técnico* e o *social* está na forma em que os problemas dominantes levam a rupturas as quais provocam decisões. Isto significa, em outras palavras, os mecanismos de como o subjetivo é incorporado à coisa técnica, e qual é o processo de trabalho que se desenvolve dentro da pesquisa industrial⁷⁾.

Durante a fase de Pesquisa e Desenvolvimento do Processo Sílica via Anidrido Carbônico, houveram sete rupturas principais provocadas em alguns casos por mais de um problema dominante. Estas rupturas provocaram decisões importantes nos caminhos da pesquisa.

A estrutura geral da pesquisa é apresentada na próxima página, onde são colocados os problemas dominantes, a organização da pesquisa, as rupturas provocadas e as decisões tomadas. As mudanças estritamente institucionais que tiveram influência no grupo de pesquisa são apontadas em destaque.

3.1 - O PRODUTO SÍLICA E SEUS PROCESSOS DE PRODUÇÃO

*As water is a unique liquid, so is
amorphous silica a unique solid.*

(Iler, R., 1978)

A sílica não é exatamente um sólido bem definido. Trata-se de um sólido amorfo altamente poroso e de alta superfície específica que possui propriedades de fractal.

Para entender o que são as sílicas, deve-se entender a físico química dos silicatos, matérias-primas a partir dos quais são preparadas as sílicas. Os silicatos admitem uma não-exata relação estequiométrica. O que caracteriza por exemplo um silicato de sódio e a relação poderal $r = \text{óxido de silício} / \text{óxido de sódio}$ onde r pode variar entre valores como 1,0 (metassilicatos) até 50000 (silicatos coloidais).

Mas o que tem a ver este assunto dos silicatos com o produto que aqui nos preocupa: a sílica?

Os parâmetros de precipitação estão limitados pela qualidade de silicato utilizado. Para produzir, por exemplo, sílica-gel é necessário utilizar silicato neutro, usualmente obtido via forno, já que uma relação poder-al elevada permite a produção de um gel de sílica altamente poroso de alta superfície específica com alta capacidade de absorção de água. Quando é repetida a produção de sílicas precipitadas, não é necessário utilizar silicato neutro, já que com o alcalino podem ser obtidos os parâmetros de superfície requeridos para usos, tais como, reforçantes da borracha, absorventes, espessantes de tintas.

O silicato de sódio é um produto que dá uma baixa margem de lucro. Uma das formas de valorizar o mesmo é fazendo produtos de segunda geração, mais intensivos em tecnologia. A forma mais corrente de valorização é a produção de sílicas. Podem ser produzidas tantas sílicas como suas mais diversas aplicações, só que para isso é preciso dominar aceitavelmente a físico-química de polimerização da sílica e ter os processos de produção das mesmas. Os processos mais conhecidos de produção de sílica são o de precipitação de sílica por meio de ácido sulfúrico, ácido clorídrico, ou anidrido carbônico. São todos objetos de patentes e pouquíssima informação está publicada em livros e trabalhos acadêmicos e industriais. A importância da sílica reside também em que é um bom suporte para catalizadores de reações na indústria petroquímica. O domínio de sua físico-química e dos processos de produção é um primeiro passo para se constituir em oligopólio da tecnologia de suportes e posteriormente de catalisadores.

3.2 - PRECIPITAÇÃO DA SÍLICA: OPERAÇÃO-CHAVE

A sílica obtida por precipitação é um polímero de óxido de silício. Durante a reação de polimerização, podem ser identificadas três etapas (Iler, R., 1979).

1. formação e crescimento de partículas coloidais
2. coagulação de partículas em agregados, formando um precipitado em suspensão
3. reforçamento dos agregados.

Existem dois mecanismos de polimerização de sílica, um ácido e outro alcalino [89]. O caso que nos interessa é o mecanismo alcalino. Em solução alcalina a sílica polimeriza-se em partículas discretas coloidais, as quais crescem até um tamanho de 4-5 nanômetros e permanecem como um sol estável. Aqui é que tem seu início a polimerização, a qual possui várias etapas. A maioria dos processos de precipitação envolvem simplesmente a neutralização parcial de uma solução de silicato de sódio na presença de uma solução que causa a coagulação das partículas. Existem procedimentos empíricos descritos em patentes, mas é importante dizer que as três etapas fundamentais na formação de produtos de utilidade não são geralmente entendidas. A formação das partículas de sílica tem suas próprias curvas de temperatura, vazão de ácido, tempos onde acontecem mudanças de condições de agitação, da concentração de silicato no meio reacional e outras parametrizações importantes.

Para se obter produtos com as especificações da sílica reforçante de elastômeros, além de simplesmente misturar silicato de sódio com ácido, requiere-se um controle de parâmetros que leve aos seguintes resultados:

- * Nucleação de partículas.
- * Crescimento de partículas até o tamanho desejado.
- * Coagulação para formar agregados pelo controle de pH e concentração de cátion sódio.
- * Reforço da estrutura do agregado até o grau desejado sem posterior nucleação.
- * Superfície específica na ordem de 160 a 180 m²/g
- * Microporosidade nula.

Para o caso do processo SAC, requeria-se que pela sua aplicação, que o produto ao ser secado, não se colapsa-se, o que dá uma magnitude de necessidade de tal reforço. A aplicação requer também que as partículas de sílica sejam facilmente desintegradas ao serem agragadas ao polímero em pequenos *aglomerados*. Além disso, existe a exigência de que a área específica estejam intervalo acima assinalado com zero de microporosidade. A microporosidade zero aqui definida copresponde a uma área zero devida a poros com diâmetro médio entre o tamanho da molécula de nitrogênio e a do reagente CTAB (brometo de cetil tetrametil amônio). Em média, significa que não poderá haver poros acessíveis dentro do sólido de área circular-média de aproximadamente 40 Angstrom², (Soltermann, O.E., 1981, ref. 02).

3.3 - A PRECIPITAÇÃO DE SÍLICA COM ANIDRIDO CARBÔNICO

Existem diferenças entre o produto do processo SAS e o SAC. Estas diferenças residem na natureza técnica recalcitrante de ambos processos:

O ácido sulfúrico é um ácido forte, no entanto, o anidrido carbônico forma uma solução aquosa, o ácido carbônico. O primeiro é um líquido, enquanto que, o anidrido carbônico é um gás. A reação entre o ácido sulfúrico em solução e o silicato alcalino é muito rápida. Ao passo que, o anidrido carbônico deve, em primeira instância, se solubilizar na solução para reagir com a água, formar o ácido carbônico, o qual reage como um ácido fraco com silicato de sódio. Esta natureza *intrínseca* tem conseqüências com a polimerização da sílica. A sílica sulfúrica (SAS) é polimerizada rapidamente e forma agregados, e a sílica carbônica é polimerizada lentamente, permitindo o crescimento espacial e aleatório da sílica o qual lhe confere algumas propriedades diferentes. Insistir na questão técnica neste Capítulo resulta de fato tedioso, mas existem pontos onde o cruzamento do técnico com o sociológico deve ser entendido.

Isto não será certamente conseguido fugindo-se de alguma dessas duas realidades. A riqueza social do projeto de desenvolvimento foi devido em parte à resistência técnica do assunto sílica, já que esta foi a responsável por várias das rupturas negociadas, sob a forma de problemas dominantes. É necessário explicar então como é produzida a sílica sulfúrica (SAS), qual foi a configuração do processo sílica via anidrido carbônico (SAC) em diferentes estágios do projeto e sua base técnica (Soltermann, O.E., 1983, ref. 02). No anexo D-4 é observada a comparação dos processos SAS e SAC e, com detalhe é mostrada o modo de operação da precipitação SAC, no anexo D-5.

No modo de operação da precipitação da SAC, observa-se que:

1. existem duas vazões diferentes de anidrido carbônico com uma relação de vazões inicial/final de 4, com um tempo de parada da adição do gás de 15 minutos;

2. existe uma curva de temperatura sigmóide;
3. uma pós-adição de silicato de sódio quase no final da precipitação.

Isto pode explicar algumas complicações da operação de precipitação. O fato de ter uma alta vazão de anidrido carbônico no início da precipitação é devido à alta taxa de polimerização que garante uma alta vazão. Junto a essa característica, está a alta superfície específica do tipo SCTAB que o produto final alcança. Quando a massa reacional chega ao ponto de opalescência, já têm-se disparado completamente a polimerização e ela indica as forças que formam em suspensão. Nesse ponto é desligada a adição do anidrido carbônico. Poucos segundos depois é formado o ponto de gel indicando o crescimento das partículas e o avanço das forças interparticulares.

Continua assim à temperatura constante e sob agitação até a formação da sílica em suspensão. É necessário parar a adição de ácido e controlar as condições de reação estritamente, pois é extremamente difícil controlar a dispersão líquido/gás quando o líquido está no estado de gel. A temperatura é importante, pois é a que controla a superfície e o seu aumento provavelmente ajuda no fechamento da microporosidade da sílica final.

A pós-adição de silicato é necessária para permitir o fechamento dos poros da sílica formada, diminuindo a microporosidade, e provavelmente o reforço das partículas formadas. A continuação da adição do gás permite *terminar* a polimerização da sílica. Porém, veremos mais adiante, que ela somente é terminada após da neutralização¹⁰⁾ com ácido forte (Soltermann, O.E., 1982).

3.4 - QUADRO ORGANIZACIONAL DA PESQUISA

Inicialmente, em 1979, a pesquisa foi assumida pelo próprio gerente do Centro de pesquisas, já que não existia um apoio institucional formal a essa iniciativa por parte da gerência da Divisão

Química Mineral que seria em princípio a beneficiária do desenvolvimento de um processo SAC. O próprio gerente desta divisão estava convencido de que o ácido carbônico não conseguiria precipitar sílica a partir de silicato alcalino, pois é um ácido fraco. Apesar de existirem algumas patentes, trabalhos acadêmicos, e até uma fábrica funcionando nos EUA usando um processo deste tipo, foi necessário demonstrar o fato praticamente. A resistência deste gerente frente ao início do estudo de uma nova rota de produção de sílica é compreensível devido à necessidade de aprovação pela matriz de qualquer plano que envolve produtos estratégicos, como é o caso da sílica.

Assim, foi montado um equipamento de bancada que permitia na escala de dois litros, efetuar um primeiro estudo sobre a precipitação. A pesquisa foi organizada neste primeiro momento com base no quadro de técnicos do Departamento de Síntese do Centro de pesquisas. A estrutura organizacional da equipe de pesquisa era a seguinte:

A equipe era toda formada por técnicos inexperientes, não só no assunto, como também em pesquisa industrial. Os técnicos nesta fase eram recém-egressos da Escola ETECAP¹, mas não tinham formação para trabalhar em pesquisa e desenvolvimento. Em 1979, o quadro hierárquico em ordem ascendente era formado por um químico de origem argentina com alguma formação em pesquisa orgânica e experiência em planta petroquímica. Sua chefia imediata, bem como aquela do Departamento sendo ocupadas por um doutor em engenharia francês com pouca experiência de campo. Contava-se em termos informais com a colaboração e experiência do pessoal relacionado com sílica e silicatos, da unidade de produção de sílica via sulfúrico. Este relacionamento profissional entre técnicos e engenheiros foi crucial para o desenvolvimento do projeto. Em épocas que não contava-se com apoio explícito da chefia da divisão (localizada em São Paulo, no Centro Empresarial), o pessoal da unidade de Paulínia forneceu a base técnica necessária para o início dos estudos: métodos analíticos e treinamento dos pesquisadores, modos operatórios de SAS que ajudaram a definir um modo operatório para o SAC, matérias-primas com relação ponderal sob encomenda, etc. Tal como

foi apontado este relacionamento informal tinha três razões econômicas que foram legitimadas e outras razões não ditas que faziam parte da estratégia do Centro de Pesquisas, porém compartilhadas parcialmente em comum interesse com os engenheiros da unidade industrial.

O relacionamento com o pessoal da fábrica permitiu estabelecer objetivos de *um processo realizável* como meta de projeto. O engajamento era dado por comunicações escritas, telefônicas e reuniões de discussão, onde o objetivo principal do pessoal da pesquisa era aprender com os engenheiros da unidade. Por outra parte, os testes dos produtos obtidos na borracha foram efetuados no início, também sem compromisso formal pelo laboratório de aplicações de Paulínia, localizado na mesma fábrica de SAS. O desenvolvimento analítico inicial foi efetuado com base na técnicas que o pessoal desta unidade forneceu para o grupo. Estas foram suficientes para começar o desenvolvimento do processo de adaptação das técnicas de análise para o caso específico da SAC. Outras técnicas foram aperfeiçoadas e adaptadas de métodos publicados. Este trabalho foi efetuado em conjunto com o Departamento Analítico do Centro de Pesquisas.

3.5 - O SOCIAL NO LABORATÓRIO: A EQUIPE E O TÉCNICO⁶⁾

Nesta altura dos acontecimentos, houve uma reestruturação da equipe com a saída de dois integrantes. Um deles, devido ao seu perfil, acreditava-se que seria melhor aproveitado em outro tipo de serviço. O restante, deixou o Centro de Pesquisas para dedicar-se a outras atividades.

Com a aceitação do prosseguimento da pesquisa, além de entrarem dois novos técnicos na equipe em substituição aos que a deixaram, ingressou um químico com a função de Coordenador de Pesquisas e reportando-se ao Assessor de Pesquisas que chefiava a equipe SAC. A previsão de um grande aumento na carga de serviço da equipe junto a dedicação temporária de parte da equipe a pequenas produções (química fina) justificaram a abertura de uma nova função.

Apesar da estrutura aparentemente piramidal, toda a equipe tinha acesso direto aberto a qualquer outro membro para qualquer assunto referido às pesquisas. Esta liberdade de atuação foi motivante para a equipe. A única proibição era não respeitar os resultados e não fazer aquilo que tinha-se decidido fazer. Nas discussões técnicas, essa filosofia de trabalho impregnou a equipe e foi uma marca do grupo de trabalho em SAC, considerando extremamente meticuloso e detalhista pelas outras equipes do centro.

Existiam uma série de acordos tácitos em matéria de divisão e organização do trabalho de laboratório. A distribuição de tarefas era estabelecida pela hierarquia. Esta nomeava o responsável pelo ensaio, os ensaístas, os analistas, o tipo de análise a ser efetuada, etc. Mas na hora de grande acúmulo de análises por exemplo, a carga de serviço era *negociada* entre aqueles que estavam capacitados a fazê-lo. Isto chegou a definir uma cultura produtiva (de P&D) singular, onde a auto-determinação do grupo primava *vigiado por regras técnicas*. Por outro lado, a mobilidade do grupo em diferentes tarefas deu uma utilidade múltipla aos seus membros: o relacionamento era aberto e a preocupação com a qualidade técnica do serviço era coletiva. Isto provocou, em prazos menores que um ano, a requalificação dos técnicos. Mas a reestruturação de funções e salarial ficou um tanto protelada pois não existia, na época, um plano de *carreira* para os pesquisadores (Crozat, M., 1981).

A estrutura da equipe era assim nesse momento:

Gerência do CP

Chefe do Departamento de Síntese

Assessor de Pesquisas

Coordenador de Pesquisas

Analista I

Analista SBET

Ensaista

Operador

Analista II

Ensaista

Os Horários de Trabalho

Teoricamente, o Assessor e o Coordenador eram os primeiro a entrar no laboratório e os últimos a sair. Quando havia horas-extras do pessoal da equipe sempre ficavam no mínimo dois técnicos por razões de segurança e cumpridas todas as normas de informar à portaria e à segurança sobre quem ficava no laboratório.

A primeira tarefa ao chegar de manhã era a de cumprimentar-se mutuamente entre os elementos da equipe seguido de um aperto de mãos. A segunda, a partir das 7:30 hs da manhã pontualmente todos os dias, era chamar os integrantes da equipe que tinham a ver com a liderança do trabalho de ensaios e da parte analítica. Aqui eram feitas discussões com caráter formativo (para todos) e eram planejados os passos para as próximas 4 ou 5 horas de trabalho. Nos melhores casos, o planejamento era feito para dois dias, mas todos os dias infalivelmente, eram

discutidos os resultados assentados nos informes diários, no caderno jornal ou simplesmente aquilo observado no fenômeno sob estudo. Frente a qualquer resultado *importante* ou acontecimento imprevisto na pesquisa eram feitas novas reuniões a qualquer hora.

A reunião da manhã no início do expediente era sempre um tanto demorada. Cada um devia sair da sala de reuniões sabendo perfeitamente (e inteiramente convencido) qual era o caminho a seguir, as condições do ensaio a ser iniciado pouco depois e o que se esperava explicar com os resultados.

Os Recursos Financeiros:

Os recursos para financiar as pesquisas eram no início cedidos pela Superintendência da Rhodia. Este valor era de alguma forma distribuído entre as divisões no fim do ano. Os Gerentes de Divisão que não tinham pesquisa alguma se efetuando dentro do Centro de pesquisas pressionaram fortemente no sentido de cada divisão Cliente do Centro de Pesquisas financiasse suas próprias pesquisas. naquela época, o investimento no Centro de Pesquisa era elevado, pois dito seja, estava-se formando os recursos humanos, adquirindo uma nova experiência dentro da empresa e comprando equipamentos. Essa visão do lado dos custos é característica de quem paga pelos serviços. Os benefícios do Centro de Pesquisas para a empresa eram nessa época um tanto duvidosos do ponto de vista destes Gerentes Divisionais. Eles afirmavam que com um controle descentralizado e controlado pelas Divisões se conseguiria reduzir o custo dos projetos. A pressões ganharam e, se por um lado, as pesquisas eram *institucionalizadas* na empresa e junto a Divisão cliente, por outro esta vantagem política ficava ameaçada pela vontade voraz de controle que se instalou no início da mudança. Os resultados obtidos eram informados em relatórios *obrigatórios* a Divisão Química Mineral. Os recursos utilizados eram explicitados e cruzados mês a mês com os resultados esperados e suas expectativas financeiras. As discussões começaram a ser mais financeiras e menos técnicas.

Eram apresentadas à Divisão Química Mineral, o plano de ensaios, os objetivos gerais e particulares para um mês de serviço e

estimados os custos para atingir determinados resultados. Usualmente eram discutidos detalhes e continuava-se com a pesquisa mês a mês. A implantação do sistema descentralizado teve um período de 8 meses de ajuste, período após o qual, o controle divisional foi efetivado.

Os Resultados Iniciais de pesquisa:

-
- * Foram obtidos produtos com superfícies específicas semelhantes ao produto da linha sílica via ácido sulfúrico.
 - * Houve o caso de produtos que apresentaram propriedades reforçantes na borracha superiores ao produto da SAS.

Nas operações subseqüentes avançou-se o bastante no sentido de se obter um processo SAC. Na filtração do produto da precipitação:

- 1) Demonstrou-se a viabilidade da filtração sob vácuo em escala de laboratório. Isto viabilizaria a utilização dos equipamentos do processo SAS numa possível implantação do processo SAC.
2. O total da soda caústica proveniente do silicato utilizado como matéria-prima e sob a forma de uma mistura de carbonato e bicarbonato de sódio, presente no produto da precipitação, é extraível da sílica sob filtração com eficiência de 85% com relação à soda inicial (óxido de sódio). Isto significou que era possível poupar 85% do ácido sulfúrico no processo sílica via sulfúrico pelo uso de anidrido carbônico no processo SAC
3. A basicidade residual da sílica devida ao outro 15% da soda inicial, devia ser neutralizada para poder se obter um produto de pH mais baixo, condição necessária para a aplicação na borracha. Assim era efetuada uma neutralização preparativa da sílica obtida com o objetivo de estudar a operação seguinte: a filtração sob vácuo do produto

já neutralizado *bouillie acide* e a retirada do sal formado mediante a lavagem da torta de filtração

4. Foi demonstrado que a filtração sol vácuo do produto neutralizado é somente 30% da velocidade de filtração do produto de linha SAS. O sal gerado na neutralização com ácido sulfúrico da soda residual (que está sob a forma de carbonato /bicarbonato) gera Na_2SO_4 , e é extraído na filtração e lavagem com eficiência de 92%.

Os resultados obtidos foram animadores em termos da precipitação da primeira filtração e lavagem, mas bastante desanimadores em termos da segunda filtração e lavagem devido à seu baixo rendimento, se comparado com a filtração do produto sílica via sulfúrico. Estes resultados provocaram uma ruptura importante a nível dos grandes e gerais problemas que orientam uma pesquisa tecnológica. Em primeiro lugar, a nível das instâncias decisórias, conseguiu-se vender a idéia de que o desenvolvimento tinha alcançado uma etapa na qual era necessário produzir amostras em grandes quantidades, e além disto, testar o processo numa escala industrial.

Bons resultados numa escala industrial já não poderiam passar despercebidos pelos escalões de decisão de maior importância.

Foi decidido assim, efetuar uma série de ensaios na escala de 40m^3 utilizando-se anidrido carbônico purificado e a própria fábrica de sílica via ácido sulfúrico (SAS). Esta decisão foi negociada por um arranjo de interesses. O problema dominante para tomar a decisão foi o de que era necessário testar o processo na escala industrial para comprovar os resultados da precipitação e da primeira filtração. Se estes resultados fossem extrapoláveis, os problemas encontrados na segunda filtração poderiam ser superados pela utilização de outra operação unitária tal com a filtração sob pressão ou a centrifugação do produto neutralizado. O problema dominante foi testar o processo para

os atores que admitiram a possibilidade de utilizar a fábrica para os testes. Para a equipe SAC os testes revestiam uma nova dimensão política e a possibilidade de se enfrentar por primeira vez com a escala industrial e suas mediações diferentes da escala laboratório ou piloto. O trabalho prescrito era mandatório, mas a grande preocupação era com o trabalho real com o controle do processo e o fechamento dos balanços mássicos, mediante métodos diferentes daqueles da pesquisa-pilotos.

Pesquisa de processos sem fechamento aceitável do balanço de massa (acima do 98%) e pesquisa sem credibilidade

Para a equipe do Centro de Pesquisas foi importante atingir este estágio num projeto de desenvolvimento empreendido com pessoal inexperiente em pesquisa tecnológica e no assunto. Todo o conhecimento adquirido e os caminhos seguidos para alcançar os objetivos da pesquisa foram sem dúvida resultados do trabalho da equipe, solidamente unida e motivada. Foi o trabalho da equipe e as negociações que acompanharam o processo decisório que levaram à cristalização de idéia, às vezes ingênuas, em fatos e em capacidade de realização. Já a esta altura, contava-se com a incerteza de trabalhar com sílica. Apesar de que foi determinada a influência de alguns parâmetros sobre a superfície da sílica, ainda estava-se longe de dominar a operação de precipitação, tal como veremos adiante.

A decisão de efetuar ensaios na escala industrial (extrapolados) envolveu não só a hierarquia da equipe SAC e do Centro de pesquisas, mas também o pessoal da fábrica, da Divisão e da Engenharia Central da Unidade Industrial de Paulínia. Até ser tomada esta decisão, já tinham sido transcorridos 14 meses desde o início da pesquisa. A equipe gozava nesse momento um *bom conceito* dentro do circuito de relações e era de fato uma equipe confiável para deixar em mãos dela uma fábrica *para experimentar*.

O simbólico na pesquisa e nas relações dos membros da equipe transparecia em cima da instalação-piloto. A comunicação do pessoal era

dado em termos de siglas e *gírias* desenvolvidas durante o trabalho acompanhando as incertezas, os acertos e o prestígio dos membros da equipe que atingiam resultados *importantes*. Muitas vezes a *resistência subjetiva* dos técnicos frente as indicações hierárquicas, permitiu a observação de fatos que posteriormente desencadearam em ensaios importantíssimos para a continuação da pesquisa. A própria informação gerada de forma criativa e intuitiva nos ensaios, na hora de ser passada no caderno jornal, permitia uma reflexão sobre aquilo que era realmente prescritível ou aquilo que podia realmente ser afirmado (por escrito) sem margem de dúvidas.

A montagem de pequenos equipamentos foi de grande importância para a formação de pessoal (na relação entre o experimento e o projeto do experimento) visando a construção final de um processo produtivo.

No final desta etapa o grupo foi ficando mais exposto à visão e a influência externa ao mesmo. Isto de fato mudou conceitualmente o modo de inserção hierárquica e institucional, já que passaram a ser comuns as visitas de pessoal externo ao grupo. As reuniões de discussão e as decisões eram tomadas em reuniões às vezes semanais para dar as grandes diretrizes da pesquisa.

4.0 - O PROJETO SÍLICA VIA ANIDRIDO CARBÔNICO (SAC)

Apesar da idéia inicial já apresentada ter fundamento em fatos externos ao grupo, tal com a existência de uma planta de produção de SAC nos EUA, ainda foi necessária uma prova prática de demonstração da precipitação de sílica com anidrido carbônico.

4.1 - UMA IDÉIA REALIZÁVEL

A questão inicial da pesquisa foi *conquistar* o Gerente da Divisão Química Mineral. Ele não estava convencido de que sendo ácido carbônico um ácido fraco, conseguiria precipitar sílica da mesma forma que o ácido sulfúrico, um ácido forte. A dúvida ia além da simples

diferença entre os ácidos. O ácido carbônico, em princípio, não conseguiria diminuir o pH de reação abaixo de 8.0 com eficiência, estando limitado pelo pH de decomposição de ácido carbônico em anidrido carbônico e água com o pH abaixo de 6.0. A dúvida tinha fundamento, e foi necessário provar frente a seus olhos a precipitação de sílica com anidrido carbônico, a partir de silicato de sódio.

A primeira das etapas da pesquisa foi o estudo bibliográfico com o pouco material disponível. Porém, o pessoal da fábrica de sílica via ácido sulfúrico (SAS) forneceu um modo operatório viável para a precipitação com ácido sulfúrico para *adaptá-lo* e estudar sua viabilidade com anidrido carbônico.

Apesar de que, o material bibliográfico no momento era mínimo, a ajuda do pessoal da produção foi importante no início e depois durante toda a pesquisa. Houveram oportunidades em que as informações da *fábrica* eram difíceis de se obter na conversa informal por parte do pessoal de P&D. Naquela época da pesquisa, tudo foi informal, pois a mesma não estava sendo reconhecida e estabelecida a nível institucional. A formalização de qualquer pedido de informação no início mediante um simples memorandum de solicitação foi uma forma adotada para qualquer pedido mesmo se os dados eram cedidos informalmente. Isso dava um mesmo padrão de comportamento para qualquer situação e com bons resultados para o Centro de Pesquisas.

Foi montado num laboratório do Departamento de Sínteses do Centro de Pesquisas, um reator de 2 litros para se efetuar a comprovação experimental de que a reação do anidrido carbônico como de silicato de sódio precipita sílica. Paralelamente à montagem, foram adaptados os métodos analíticos utilizados na fábrica para a medição dos parâmetros de superfície em sílica obtida por precipitação. O estudo consistiu em efetuar ensaios de carbonatação de silicato de sódio utilizando anidrido carbônico, porém seguindo o modo operatório fornecido pela fábrica. Foram controlados os parâmetros de reação necessários para manter o sistema sob controle: agitação, taxa de adição de anidrido carbônico, temperatura, e medidos outros tais como o pH da massa reacional e efetuado o controle visual da mudança de

aspecto físico na massa reacional. Nesta fase procurava-se também demonstrar que o grupo de pesquisa era capaz de efetuar ensaios deste tipo com sílica. Assim, no primeiro ensaio foi demonstrada a precipitação da sílica frente aos olhos do Gerente da Divisão Química Mineral. E isto, junto com a legitimação do grupo de trabalho, significou um ganho político importante. A partir daí, este Gerente colocou à disposição da equipe, a consultoria de um técnico químico francês que dava suporte à fábrica, para também ajudar na pesquisa.

As informações passadas pelo pessoal da fábrica foram sempre importantes, ensinavam o *como* do processo por eles conhecido mas não os *porquês* tão necessários para o desenvolvimento de um novo processo. A pesquisa da bancada foi iniciada então verificando o que acontecia ao utilizar a mesma instrução de operação do processo via sulfúrico com anidrido carbônico. Foram feitos ajustes por ensaios orientados pela análise de resultados e pela intuição.

4.2 - O TRABALHO NO LABORATÓRIO:

A formalização, a avaliação, o controle e a prescrição do trabalho começaram nesta primeira etapa visando não só o controle da pesquisa como também a formação de recursos humanos via iniciação em pesquisa de bancada e piloto.

Previu-se um mínimo de dois anos para a formação do pessoal. Os técnicos eram obrigados a efetuar um informe diário ao assessor de pesquisas (quem dirigida a equipe) e este revisava desde os resultados até as contas analíticas. A formação foi dada pela experimentação, efetuando e acompanhando o controle dos ensaios e os resultados. Assim, os técnicos menos experientes eram colocados diretamente em contato com a realidade material e experimental dos ensaios e ensinados a respeitar os resultados pois estes são a realidade subjetiva mais próxima à realidade objetiva da matéria. O assessor informava semanalmente ao chefe de departamento. A nível mensal, era gerado um relatório sobre a pesquisa informando ao Gerente do Centro de Pesquisas, o qual posteriormente passava uma cópia deste para o pessoal da Divisão Química

Mineral: o gerente, o engenheiro de processos da fábrica SAS e o técnico francês. O que interessava a nível do grupo de pesquisa, é que essa farta informação produzida e refletida nos relatórios não era mais que a forma de controle do trabalho por eles produzido e demonstrava o avanço no aprendizado dos recursos humanos e da própria pesquisa.

Essa objetivação do trabalho intelectual e laboratorial do grupo permitiu a este ver-se como unidade profissional e social. O chefe do Departamento foi um ator importante na exigência do registro da informação. Assim, a própria equipe da pesquisa SAC conseguiu-se identificar pela sua própria organização. Já nesta etapa, a equipe começou a se diferenciar e criar símbolos de grupo. O assunto sílica obrigou, pela sua natureza complexa e tecnicamente recalcitrante, à organização da equipe, dando ao grupo sua expressão social de identidade e constituindo-se portanto em unidade de expressão política. A primeira diferença foi a identidade simbólica do grupo com a criação de uma linguagem própria da equipe (como em qualquer grupo de pesquisas), um tanto afrancesada, devido à cultura própria da casa e à presença de franceses no Centro de Pesquisas em posições hierarquicamente importantes. Esta hierarquia impunha implicitamente uma segunda língua e seus sinônimos afrancesados. Assim *bouillie* significava uma suspensão de sílica; *masse réactionnelle* o conteúdo do reator durante a reação, *mecanot* era a grade onde instalou-se o piloto, *modo opératoire* a instrução de operação, etc^{6) 12)}.

Mediante a organização da equipe para o trabalho obteve-se o primeiro triunfo que foi na legitimação (social) da equipe. Isto foi um fenômeno novo dentro da empresa pelo qual passaram todos os grupos de pesquisa do Centro. Por um lado tinha-se a articulação entre um novo processo de trabalho (o processo de trabalho em P&D) e a emergência de um novo ator dentro da empresa: o pesquisador. Esta primeira fase da pesquisa durou aproximadamente seis meses. Do ponto de vista técnica demonstrou-se que era possível precipitar sílica com o anidrido carbônico e que existiam vários caminhos para obter sílica com superfície SCTAB ajustada a mais de 10% de confiabilidade. As operações necessárias para a purificação da sílica precipitada somente foram

estudadas pela equipe a nível analítico, mas de forma ainda superficial. Suspeitava-se já da necessidade de se efetuar duas filtrações e entre elas uma neutralização da basicidade residual da sílica com um ácido forte e a secagem final desta. Tudo devia ser estudado profundamente em escala laboratório e posteriormente piloto.

4.3 - ENSAIOS NA ESCALA DE 20 LITROS - A "VERINHA"⁸⁾

Após os resultados alcançados na escala de 2 litros, a pergunta necessariamente foi:

É possível obter um produto similar ao da linha de produção sílica via ácido sulfúrico? De fato, a resposta a esta pergunta levou três anos e meio de pesquisas, como problema técnico dominante e geral do projeto de desenvolvimento. Os objetivos específicos desta fase da pesquisa foram inicialmente o estudo da influência de parâmetros e a obtenção de suficiente quantidade de sílica para testar o produto de cada ensaio na borracha. A quantidade de amostra obtida em cada ensaio deveria ser também suficiente para efetuar estudos de orientação de laboratório das operações unitárias de purificação e acabamento do produto final. Pela primeira vez, a equipe toda confrontou-se com um equipamento piloto e o que foi mais importante é que confrontou-se o trabalho prescrito do ensaio planejado com o trabalho real ou seja aquilo que era possível de executar experimentalmente. Os problemas encontrados foram diferentes daqueles da escala de 2 litros, pois mudaram os sistemas de agitação, de aquecimento, de detecção do ponto de polimerização da sílica e já utilizaram-se algumas mediações entre o pesquisador e o sistema reacional. Estes foram os indicadores de vazão de anidrido carbônico, um termômetro digital, e até uma balança para fechamento dos balanços de massa.

Para efetuar estudos na escala de 20 litros, foi necessário adaptar um reator já existente. O projeto do mesmo não seguiu regras específicas. O reator usado foi o que estava disponível no momento. O agitador não foi projetado, mas simplesmente indicado para sua construção.

A equipe, nesta etapa, aumentou em um técnico-químico, sem

experiência e um operador de unidade com mais de 15 anos de experiência industrial. esta diversidade obedecia, por um lado, à necessidade de execução do trabalho prescrito que, com o aumento da escala, tornava mais complicado o controle com mediações precárias de controle o serviço do técnico, por outro lado, o trabalho de purificação e acabamento do produto final para serem testados na borracha, eram uma função do operador. Esta divisão *hierárquica* do trabalho é raramente funcional no trabalho de pesquisa industrial, pois a própria convivência chegou inúmeras vezes a inverter os papéis, pela necessidade da cooperação, ou por simples espírito de equipe.

Na montagem do reator, como em todo o estudo participou o pessoal da pequena oficina de manutenção do Centro de Pesquisas. Existiam no próprio Departamento de Sínteses dois *bricoleurs* que tinham-se especializado (pela sua própria trajetória pessoal) em pequenas montagens e na invenção de aparelhos, tanto mecânicos quanto eletrônicos. Eram pessoas com grande experiência em manutenção industrial. O reator foi tão apreciado esteticamente e tão querido, que a equipe o batizou de *Verinha*, em alusão à beleza da atriz e modelo brasileira Vera Fisher. Nesta fase, o simbólico ganhou a equipe. Os ensaios começaram a levar uma sigla, sendo que esta representava o técnico responsável pelos ensaios. Por idéia do chefe do departamento, e para seguir normas francesas da matriz, estas siglas eram registradas em cartório, junto ao caderno jornal (*cahier journal*) de responsabilidade do técnico, e era o lugar oficial da equipe (técnica e juridicamente) onde assentar os ensaios realizados. O processo de trabalho de pesquisa tecnológica tem como finalidade a concepção de processos de trabalho, sempre na procura da valorização mediante o aumento da, *produtividade*.

O serviço de P&D consiste no trabalho vivo e criativo que permite prescrever o trabalho na forma de instruções de operação e de trabalho morto acumulado. É o trabalho que permite transformar a idéia em invenção e a invenção em inovação, trabalho o qual consiste na prescrição das consignas e condições do trabalho. A função deste caderno-jornal era dupla no sentido objetivo: prescrever e proteger também a propriedade industrial. Como o caderno era registrado em

cartório, eventuais cópias da tecnologia poderiam ser discutidas na justiça, já que no caderno os ensaios eram assentados cronologicamente e baseados no trabalho prescrito acumulado, cujo responsável era um dos técnicos de pesquisa do projeto SAC. O fato de existir o caderno-jornal era um forte elemento de legitimação do técnico responsável pelo ensaio dentro da equipe e da organização da equipe. Por outro lado, existia uma obrigação hierárquica de assentar os ensaios. Não se podia prosseguir em mais de dois ensaios, sem que se assentasse o anterior. Os mecanismos criados de controle do trabalho prescrito anteriormente afetado com informes diários passou a ser o caderno-jornal. Porém, este já era um relatório técnico com modelo de preenchimento. Levava a reflexão sobre os ensaios realizados, juntava os resultados e obrigava a tirar conclusões sobre os resultados alcançados. No anexo D-5 é mostrado um exemplo do caderno jornal.

Estes cadernos eram utilizados pelo assessor de pesquisa para confeccionar seus informes semanais para o Chefe de Departamento, prática adotada posteriormente para todo o Departamento. O caderno era um livro aberto consultado para quem quisesse e que estivesse envolvido com o assunto. Essa transparência levava a uma grande preocupação que dominava o espírito de equipe: fazer bem feito. Os ensaios que davam resultados péssimos, mal planejados ou mal efetuados eram também assentados. O lema era: respeitar os resultados. Este fato, o de descrever o trabalho real, e compará-lo com o trabalho planejado (ensaio programado) e um dos responsáveis pela formação do *espírito científico* entre os tecnólogos. É importante também na formação do espírito de equipe e o caminho para a auto-crítica. Numa equipe de pesquisas não pode haver mentiras, apesar das diversidades e adversidades. Curiosamente, forma-se uma cumplicidade pela *verdade* e na perspectiva de se comprovar se um resultado surpreendente obtido é reprodutível, este não é divulgado até sua confirmação.

A *Verinha* foi projetada também para gerar amostras. No melhor dos casos e após cada ensaio, era obtido um produto que em dois dias de processamento *rendia* somente 1 kg de sílica. Outro problema levantado era o da extrapolação da escala. Devido à interferência dos internos do reator (sensor de temperatura, manômetro, injetor de gás, etc.), o regime não seria facilmente reproduzível numa escala industrial.

Esta fase de ensaios durou 3 meses e foram realizados estudos para se conhecer melhor os parâmetros da precipitação.

No entanto, foi projetado um reator de 60 litros, cuja escala seria mais extrapolável e também *preparatória*, para se obter amostras que satisfizessem as necessidades do pessoal do laboratório de aplicações na borracha. A demanda de amostras para testes era de dois lotes de 1 kg. Isto permitia efetuar em caso necessário dois testes para a mesma amostra e efetuar as medições físicas correspondentes. De fato, era crucial testar o produto na borracha, pois era em definitivo o que viabilizaria a aprovação da sílica obtida (Marengo, C.E., 1981, ref. 01). Nessa época, acreditava-se em que seria possível conhecer a influência dos parâmetros de precipitação da sílica sobre os resultados obtidos nos testes físicos do produto incorporado na borracha. Foi de fato um pensamento ingênuo devido às complexidades por um lado da precipitação da sílica, e por outro da modelização do comportamento de reforçantes na borracha.

O relacionamento entre o pessoal da equipe SAC e o do laboratório de testes na borracha foi sempre cordial. Se por um lado para o pessoal do Centro de Pesquisas interessavam os resultados, para o laboratório de aplicações significava um amplo reconhecimento fora do circuito interno da própria Divisão Química Mineral. Quem diria se a sílica obtida num ensaio era de qualidade aceitável, seria o laboratório de aplicações.

Durante a fase da *Verinha* começou-se a desenvolver a técnica de determinação da superfície SBET (nitrogênio) e para isso foi alocado um técnico-químico com experiência analítica que junto com o assessor de pesquisas colocaram a técnica a ponto e prescreveram um modo de operar.

4.4 ENSAIOS NA ESCALA DE 60 LITROS - A VERONA

O objetivo desta fase foi *renegociado* com base na anterior. Aparentemente, faltou no planejamento da etapa precedente, uma visão da escala-piloto necessária para a produção de amostras para testes na borracha, estudos analíticos e para processamento nas operações unitárias subseqüentes. Os objetivos foram aqui o estudo da influência dos parâmetros de precipitação, o estudo dos produtos na borracha e o estudo da filtração da sílica precipitada (primeira filtração), a neutralização da basicidade residual, a segunda filtração e a secagem.

Nesta fase o grupo ficou mais perto a influências externas:

- * O Departamento de Desenvolvimento Analítico desenvolveu métodos analíticos para o projeto SAC.
- * A manutenção do Centro de Pesquisas fez quase que semanalmente pequenos aparelhos e/ou modificações na instalação-piloto, afim de adaptá-la a realidade técnica e material do processo sob estudo por um lado, e por outro criando mediações que permitiram conhecer o sistema físico sob transformação.
- * A fábrica de SAS forneceu o silicato de sódio sob ajuste da concentração e da relação ponderal de óxido de silício a óxido de sódio sob encomenda, na participação nos testes de borracha, com dicas sobre comportamento físico-químico da sílica e do silicato, no fornecimento de métodos analíticos utilizados na fábrica, etc..
- * O pessoal de biblioteca e documentação forneceu os dados sobre uma pesquisa bibliográfica em especial, com procura dos resumos de patentes no sistema Derwent, na recuperação de trabalhos e patentes a partir de indicações do *Chemical Abstracts*.
- * As relações externas foram importantes para os primeiros estudos de secagem de sílica em atomizador piloto na Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas,

nos serviços prestados pelas firmas Thompson (firma francesa de eletrônica) e Centro Flora também em secagem sob diferentes condições.

A construção da pesquisa deu-se em função do arranjo das relações das mais diversas e multidisciplinares formas possíveis. A relação mais técnica estabelecida era com o pessoal da fábrica e com o técnico francês que participava de reuniões semanais com o assessor de pesquisas que dirigia o estudo.

Por um lado tinha-se o apoio tímido ainda da Divisão Química Mineral, mas a fábrica participava do projeto com entusiasmo ao menos nesta fase. As outras relações dentro do Centro de Pesquisas eram parte da rotina do Centro e ficavam dentro do esquema de relações hierárquicas de colaboração do trabalho.

O reator de 60 litros montado ficou batizado pelo nome de *Verona* pois tratava-se da mesma *Verinha* numa escala maior, com alguns aperfeiçoamentos. Estes consistiam em mudanças simples de dispositivos de controle e indicação da reação, porém eram mudanças necessárias, de acordo com o aprendizado na escala de 20 litros. O curioso, é que parte destas mudanças não ficaram como trabalho prescrito. Na pesquisa-piloto este tipo de indicação fica na memória da comunidade praticante, mas nem sempre é registrado de forma de desenho. Após esta experiência, tomou-se também uma regra: a inclusão de mudanças de reator na prescrição do trabalho, no caderno-jornal. Isto foi uma descoberta, como forma de controle do trabalho real, e foi de grande utilidade para o planejamento de novas experiências. Esta ação é o nó fundamental na construção e a base do projeto dos bens de capital necessários para conduzir as transformações físicas e químicas das matérias-primas até o produto desejado. O objetivo destes ensaios para o Centro de Pesquisas foi o de demonstrar que SAC era um projeto viável para P&D.

A determinação de conseguir a auto-afirmação do Centro persiguiu por longo tempo as pesquisas. Era necessário demonstrar que o Centro era capaz de aceitar e vencer esses desafios. Assim concretamente os ensaios procuravam as condições de obtenção de

produtos idênticos (ou superiores) ao produto da linha SAS (conhecido como BS-45 no mercado) com propriedades reforçantes na borracha também similares. Isto asseguraria, hipoteticamente, a consagração da pesquisa (Marenco, C.E., 1981, ref. 01).

Já com a técnica analítica de determinação de superfície BET em desenvolvimento, foi possível determinar a micro-porosidade das amostras dos produtos obtidos. Esta técnica, junto com a de superfície CTAB, são de primordial importância para qualificar as amostras viáveis para serem testadas na borracha (Soltermann, O.E., 1981, ref. 02).

Paralelamente a esta técnica, foram desenvolvidas outras de medição em escala experimental de parâmetros que permitiram a orientação do estudo das operações subseqüentes do processo. Este foi o caso por exemplo do estudo da velocidade relativa de filtração da SAC obtida, com relação a SAS. O interesse era o de minimizar os investimentos e, no possível, utilizar a fábrica de SAS existente para um processo SAC com o mínimo de modificações. Esta técnica permite obter resultados extrapoláveis de um filtro de 300 cm^2 para outro de 70 m^2 de superfície (Soltermann, O.E., 1981, ref. 04). Um dos principais problemas encontrados nesta fase foi a dificuldade de obtenção de resultados reprodutíveis. A influência dos parâmetros sobre a superfície de sílica foram conhecidos e feitas correlações. Agora, a correlação entre as condições de precipitação e os resultados dos testes na borracha foram impossíveis de se efetuar.

A conexão do grupo de pesquisa com outros grupos e setores da empresa foi responsável pela mudança qualitativa que representou a passagem dos registros do trabalho realizado para a criação de novas técnicas, desenho de equipamentos, ajuste de técnicas analíticas e a visão que o projeto adquiriu tendo como objetivo um processo que funcionasse na escala industrial e na possível troca do processo SAS pelo SAC. Após os resultados alcançados, acreditou-se que o projeto não estava muito longe do fim, pois alguns produtos obtidos em certas condições-piloto permitiam atingir a superfície CTAB especificada e com baixa microporosidade. Existia, em função da estrutura social estabelecida na pesquisa, um contexto político interno que pensava

independentemente da matriz. O desenvolvimento de processos desde a idéia inicial foi uma rara oportunidade onde este grupo se desenvolveu. Como veremos mais adiante, esta filosofia de autarquia no desenvolvimento de projetos foi posteriormente ceifada. Aqui prevaleceram os interesses da matriz.

4.5 ENSAIOS DE EXTRAPOLAÇÃO NA ESCALA INDUSTRIAL 40M3

4.5.1 A Primeira Série de Ensaios - Uma Decisão Política

A extrapolação das condições-piloto, em escala de 60 litros para a escala industrial, de 40 m³, foi uma espécie de risco assumido para convencer aqueles que ainda não acreditavam na viabilidade comercial-industrial do processo. O objetivo destes ensaios foi o de obter na escala industrial produtos com superfícies similares ao produto da linha SAS, isto é superfície não-microporosa de 160 e 180 m²/g; comprovar o rendimento da primeira filtração estimada na escala laboratório, a extração do carbonato/bicarbonato na lavagem e testar os produtos finais e re-processados no laboratório (neutralização, segunda filtração, lavagem e secagem) na borracha (Marenco, C.E., 1981,ref.02).

O planejamento dos ensaios industriais e o convívio com o pessoal da unidade foi de grande riqueza para o pessoal da pesquisa. Foram feitas adaptações no reator de precipitação sílica-sulfúrico para o seu uso utilizando anidrido carbônico. Estas ações envolveram o pessoal do Centro de Pesquisas, da unidade SAS, da manutenção da fábrica, da segurança de processos da fábrica e da própria Divisão Química Mineral, entre outros.

Os ensaios foram realizados durante quatro dias. Houve sérias limitações para que se pudesse acertar a superfície CTAB do produto em escala industrial. Por outro lado, foi difícil manter uma relação de vazões diferentes no início da reação, e, após a polimerização da sílica, coisa que era imperativa, segundo a instrução de operação testada no laboratório. Teve-se que ajustar parâmetros que permitissem

aumentar a superfície específica do produto, pois nessa condições (as indicadas no estudo-piloto, mas com vazão específica menor de anidrido carbônico), as superfícies obtidas estavam aquém do esperado. Na fase da pesquisa industrial foram mudados aspectos importantes, não só do ponto de vista qualitativo, como também quantitativo. Tratava-se agora de efetuar uma operação unitária industrial de precipitação em reator de 40 m³ e utilizar três filtros de vácuo de 70 m² de superfície cada um. Em termos operacionais, significou manter consignas de operação de pesquisa com equipamento, pessoal e recursos de escala industrial em termos de controle (painéis), metodologia de amostragem, medições físicas na vaso e (o mais importante), o fechamento aceitável de balanços de massa em experiências industriais. Trabalhou-se com a ajuda de operadores da planta e de supervisores. Teve-se também apoio das gerências de produção, de manutenção, de processos e de aplicações do processo sílica-sulfúrico. Todo o pessoal da SAC esteve envolvido seja na parte analítica, seja na de processo.

Os resultados alcançados foram na maioria, aqueles esperados. Foram então visualizados algumas das insuficiências no conhecimento do processo em desenvolvimento, que fizeram parte do planejamento da pesquisa daí em diante. O resultado mais importante foi, apesar das dificuldades, ter-se tornado possível obter sílica com superfície específica dentro do esperado numa das operações. E os resultados dos testes na borracha deste produto foi semelhante ao da SAS. Estes encorajadores resultados justificaram a continuação da pesquisa para a obtenção de um processo completamente definido:

Porém,... o produto obtido na planta industrial foi neutralizado, filtrado e lavado na escala de 60 litros e secado em atomizador piloto para se efetuar os testes na borracha.

Observou-se o baixo rendimento da segunda filtração na escala -piloto, com o bom produto obtido na escala industrial. Isso era explicável. A neutralização *termina* a polimerização da sílica. Isto muda consideravelmente a distribuição de cargas na superfície das partículas de sílica, mudando também o tamanho dos aglomerados de

partículas, provocando o aumento da relação de partículas finas. Estas partículas finas aumentam a perda de carga da camada filtrante, fazendo cair a eficiência da filtração. De fato este comportamento é inerente ao processo SAC. Apresentava-se então a possibilidade de testar outro tipo de operação unitária. Restava a seleção de equipamentos para se efetuar outras operações de separação física: a centrifugação e a filtração sob pressão. Ambas foram testadas durante a revisão do processo em escala-piloto.

Após a definição da operação de neutralização e de filtração do produto neutralizado (em grandes linhas), devia-se demonstrar se era possível a obtenção de um produto SAC completamente processado na escala industrial. Não foi difícil convencer o pessoal da unidade para aproveitar alguns momentos de ociosidade na mesma e assim efetuar, cinco meses depois, um segunda série de operações industriais, em maio de 1981.

4.5.2 A Segunda Série de Ensaios e o mecanismo de Seleção de Equipamentos

Nesta série de ensaios também foi comprovado aquilo que foi demonstrado na primeira série de ensaios. Foram introduzidos a nível de precipitação algumas medições importantes tal como a avaliação da quantidade de anidrido carbônico perdido durante a reação. Foi avaliada a segunda filtração, obtendo-se um resultado inferior em termos de rendimento que aquele apontado no laboratório. O sulfato de sódio demonstrou ser facilmente extratível, e o teor deste sal na sílica apresentou valores inferiores ao produto de linha sílica via sulfúrico. Os produtos testados na borracha apresentaram qualidade equivalente ao produto SVS. Esta conclusão era relativa pois na reunião de fechamento dos testes na borracha, ficou evidente o fato de que com a SAC aparecem diferenças não justificáveis nos parâmetros físicos que medem o desempenho da sílica como reforçante de elastômeros. Isto por um lado

possui vantagens como a grande transparência que a SAC proporciona às amostras de borracha, a qual é incorporada, em comparação à SAS. Por outro lado, deve se entender a dificuldade que se enfrenta para quebrar os preconceitos dos usuários da SAS, frente à possibilidade de mudança da sílica de aplicação.

Decidiu-se enviar amostras para laboratórios de aplicações da empresa na França para teste. Assim ganhava-se já a notoriedade do desenvolvimento efetuado.

A possibilidade de se trocar de processo na unidade SAS de Paulínia, era interessante, mas devia-se trabalhar muito antes de conseguir colocar o processo em termos técnicos a operar na escala industrial. A nível financeiro devia-se esperar pelo retorno do investimento efetuado na unidade SAS, ainda dentro do tempo previsto. A nível de mercado, o produto não poderia significar mudança no perfil do cliente, nem do tipo de aplicação. A nível de novos investimentos, a mudança de processo deveria significar baixos investimentos. Tudo isso foi considerado para a elaboração de um plano de otimização e de revisão do processo e das condições de extrapolação.

Nesta série de ensaios na escala de 40m³, foi testado o processo em toda sua extensão, de acordo com o primeiro processo SAC definido pela equipe. O objetivo dos testes foi por um lado, o estudo da precipitação, visando a obtenção de produtos com superfície específica entre 160 e 180 m²/g. Por outro lado, o interesse no estudo das operações seguintes à precipitação: a primeira filtração e a lavagem do *basic cake* bolo básico; as condições de neutralização do bolo básico obtido na filtração; e o estudo, pela primeira vez a nível industrial, da segunda filtração, da lavagem do bolo ácido; e da secagem da sílica no atomizador industrial. Estes ensaios aconteceram do 26 ao 29 de maio de 1981. É redundante dizer que o objetivo final era o teste dos produtos obtidos na borracha e a comparação dos resultados de acordo com o produto de linha SAS. O objetivo do ponto de vista do produto final não foi a obtenção do *melhor produto*. Isto deveria ser depois revisto na etapa de otimização do processo.

Os estudos em termos de processo encerravam sob a forma de objetivos bem definidos algumas dúvidas com relação às operações unitárias do processo: a reprodutibilidade da operação de precipitação, o interesse de observar se na escala industrial com o uso de menor energia por unidade de volume fariasilica após a neutralização, mais filtrável que na escala piloto. Este estudo de extrapolação deveria ser de fato, uma espécie de teste de seleção de equipamentos, dando insumos para a decisão de qual operação unitária não poderia ser utilizada. Observa-se assim que foi contruída uma heurística negativa utilizando a extrapolação empírica como meio de situar o problema para posteriores decisões.

As conclusões tiradas foram de confirmação dos testes anteriores, mas aqui foram medidos outros parâmetros técnico-econômicos importantes para o estabelecimento futuro de um projeto de engenharia. Foram avaliadas as perdas de anidrido carbônico devido ao seu não aproveitamento no sistema reacional, e foi comprovada a possibilidade de se efetuar a neutralização do bolo básico num reator já disponível na fábrica. A eficiência da filtração do bolo neutralizado e a lavagem do sal contido na sílica comprovaram os resultados de laboratório. Isto foi importante, já que a *defloculação da sílica* responsável pelo fraco desempenho na filtração, não era um problema devido à energia dispendida na agitação, mas era um problema químico e inerente à natureza do processo. Nas escalas de 60 litros e de 40 m³, a potência dispendida em agitação, por unidade de volume, é muito diferente. Se esta energia fosse responsável pela defloculação da sílica, a filtrabilidade do produto neutralizado em ambas escalas seria bem diferentes.

Observa-se aqui que, na linguagem de Latour, os fatos técnicos são duros, recalcitantes e resistem em comprovar as hipóteses pré-estabelecidas.

4.6 - MUDANÇAS NA EQUIPE E A REVISÃO DO PROCESSO

Logo após o término dos ensaios industriais, houve mudança na equipe. O assessor de pesquisas que dirigia a equipe, foi enviado à matriz para um período de treinamento. O coordenador de pesquisas assumiu sua função e com isso as etapas seguintes do projeto de P&D.

O assessor de pesquisas foi enviado à França pelo período de um ano para seu aperfeiçoamento. Isto obedecia aparentemente um plano desenvolvimento de carreira dos quadros do Centro de Pesquisas. Posteriormente observou-se que não obedecia a um plano estruturado, já que após a sua volta, o pesquisador ficou *encostado* aguardando um local, uma equipe e um assunto para exercer sua função. A tal viagem de aperfeiçoamento aparentou ser mais um prêmio pelo esforço na condução da equipe e em função dos resultados alcançados na SAC. Isto tinha um duplo sentido, pois, se por um lado era um prêmio, por outro lado legitimava-se o Centro de Pesquisas e o Departamento de Sínteses frente à matriz, pois enviava-se um técnico que tinha gerenciado o processo de P&D do projeto SAC.

Com a segunda série de ensaios industriais porém, surgiram dúvidas sobre o processo, as quais mudaram o perfil da pesquisa. A nível de precipitação, era necessário manter um nível de vazão de anidrido carbônico único, em vez de dois, e eliminar, se possível, a interrupção na adição do gás. Por outro lado seria necessário testar o processo diretamente com o gás proveniente do *reforming*, em vez de gás purificado.

Devia-se estudar a possibilidade de obtenção de sílica mais filtrável, determinar com certeza a influência e sensibilidade de parâmetros. Devia-se obter um modo de operação reprodutível que permitisse ser testado na França num piloto de 3 m³, existente na fábrica de Collonges. Inclusive era importante determinar com precisão as curvas de neutralização do *bolo básico* e sua reação com a qualidade do produto final secado por diferentes métodos. Era necessário estudar operações unitárias diferentes da filtração sob vácuo cuja produtividade não fosse afetada pela granulometria da sílica

neutralizada. Devia-se definir um processo diferente daquele até esse momento conhecido, mas com alto nível de reprodutibilidade e confiabilidade com produto similar ao da serviço de apoio ao da SAS. Isto significou praticamente começar de novo a pesquisa.

Com a troca do chefe da equipe houve algumas mudanças na mesma. Durante as fase de ensaios na escala de 60 litros tinha-se apoiado o trabalho de ensaios fundamentalmente num técnico só. Ele já tinha adquirido suficiente experiência no assunto, como para iniciar estudos de orientação das operações unitárias posteriores à precipitação e fornecendo ajuda na etapa de otimização da precipitação. Assim, colocou-se no seu lugar uma técnica-química com habilidade comprovada em montagens de laboratório e de grande capacidade de observação. De fato, colocar uma mulher pela primeira vez no Departamento à frente de um piloto e num estudo importante, causou um certo mal-estar que depois foi simplesmente vencido pelos fatos. Num curto prazo de pesquisas, obtiveram-se parte dos resultados almejados no tocante à precipitação. O estudo dirigiu-se à obtenção de um modo de operação chamado RAQ 19 (RAQ proveem de Raquel, a ensaísta do estudo) e este foi enviado a França para ser testado no piloto de 3 m³ de Collonges. Este modo de operação consistiu num único nível de vazão de anidrido carbônico, com o tempo de parada intermediária. Os modos de operação anteriores, desenvolvidas na escala piloto mantinham uma relação de vazões inicial/final igual a 4. Isto do ponto de vista na engenharia de projeto significava altos custos do sistema de regulação e controle da vazão de anidrido carbônico durante a operação. Os estudos continuaram sobre um plano bem definido de otimização do processo. No entanto aconteciam os ensaios na escala de 3 m³ na França.

4.7 ENSAIOS EM TERRA ESTRANHA, PESSOAL ESTRANHO E PILOTO ADEQUADO - AS DIFICULDADES DA EXTRAPOLAÇÃO

O piloto de 3 m³ foi modificado para efetuar os ensaios o mais aproximado ao estudo piloto da escala de 60 litros no qual foi obtido o modo operatório RAQ 19 (Soltermann, O.E., 1981, ref. 01).

No aumento de escala de 60 litros para 3 m³ foram mantidas as consígnas de operação, porém, o modo operatório RAQ 19 deu na escala de 3 m³ um produto com superfície específica que, em alguns ensaios, chegou a ser a metade da obtida na escala de 60 litros. Houve necessidade de se ajustar o modo operatório (Marengo, C.E., 1981, ref. 04) à escala de 3 m³, sendo estudada sua reprodutibilidade posteriormente (onze ensaios). Os resultados dos testes na borracha, efetuados sobre os produtos obtidos, foram em alguns parâmetros, superiores ao produto de linha SAS. A reprodutibilidade das propriedades físico-químicas da sílica testada na borracha foi para os onze ensaios considerada aceitável.

Em termos de parâmetros de processo, o grande desempenho ficou por conta da filtração em filtro prensa automático, demonstrando assim a viabilidade do processo do ponto de vista da filtração do produto neutralizado. Isto foi também comprovado, um pouco antes, no Centro de Pesquisas utilizando-se um equipamento nacional e utilizando-se sílica neutralizada e produzida pela equipe, na escala de 60 litros. Para o estudo, utilizou-se um pequeno filtro-prensa-piloto, de placas verticais, de um fornecedor nacional. O desempenho em termos de eficiência da filtração em si, foi similar, somente que o filtro-prensa utilizado na França *sem similar na época* devido ao fato de ser semi-contínuo, reduz os tempos mortos de descarga e lavagem, diferente do equipamento nacional. A viabilidade do projeto com equipamento não disponível no mercado nacional e ainda com dificuldades de importação na época não era realmente a saída. Porém, a pergunta mais importante, e que pairava no ar, não era tanto relacionada com a segunda filtração, e sim com *complicada operação de precipitação*:

hierarquia, na forma de controle de pesquisas do Centro de Pesquisas, e à racionalização de custos.

Os custo da pesquisa sílica via anidrido de carbônico não eram pequenos, pois, na época dos ensaios de Collonges, tinha-se no Centro de Pesquisas 16 técnicos trabalhando incluindo o Coordenador de Pesquisas. Deve se lembrar que na França foram feitos os ensaios utilizando-se um dos técnicos do Centro de Pesquisas e o Assessor de Pesquisas que tinha sido enviado para aperfeiçoamento.

Foram montados pilotos para os estudos detalhados das operações de filtração sob vácuo, filtração preparativa, neutralização, filtração sob pressão e centrifugação. A grande quantidade de mão-de-obra utilizado na pesquisa ainda na escala de 60 litros devia-se também a um descobrimento realizado durante os ensaios na escala de 40 m³. A SAC não-neutralizada sofre transformações na estrutura e na superfície durante o seu tempo de estocagem. Já não era possível confiar na neutralização e na segunda filtração efetuadas sobre sílicas velhas (Marenco, C.E., 1981, ref. 03).

Assim, era necessário trabalhar em cima de amostras representativas do processo e isso requeria muita mão-de-obra. Tecnicamente falando, o projeto ficava cada vez mais denso. A mudança da superfície da sílica e o fechamento dos poros dava-se, em alguns casos, em questão de horas dependendo de como essa sílica tinha sido precipitada. O fechamento mencionado retia uma basicidade residual, não facilmente atingida pela neutralização. Esta basicidade aparecia posteriormente na hora da secagem da sílica, dificultando o acerto da acidez do pó, requerida para sua incorporação à borracha.

Neste instante da pesquisa já tinham sido introduzidas mudanças organizacionais. O chefe de Departamento afastou-se *para um período de treinamento nos EUA* e no seu lugar ficou interamente um grupo de cinco pessoas, as quais dirigiam as pesquisas. Depois de seis meses chegou um novo Chefe de Departamento da França, com experiência em produção. O que realmente aconteceu foi uma profunda mudança em termos de fisiologia de trabalho, a qual foi observada numa apresentação

Como conseguir um modo operatório da precipitação que permitisse ser extrapolado tanto em condições de operação, como nos resultados obtidos em termos de produto? Esta resposta estava longe de ser respondida. Os ensaios industriais e o piloto em Collonges significaram um grande esforço antecipado, que demonstrou a dificuldade de se extrapolar o desempenho dos dados obtidos na escala de 60 litros. Comprovou-se que era difícil manter o resultado tão macroscópico de acertar superfícies e micro-porosidades, sem estudar a fundo, as condições que mudam a escala. Por ingênuo que pareça, realmente começou a partir daqui, após os estudos de Collonges -terra estranha, pessoal estranho e piloto aparentemente adequado- a grande preocupação com o assunto que dominou a pesquisa até o seu fim: a extrapolação da operação de precipitação. Os ensaios na escala de 3 m³ foram realizados pelo assessor de pesquisas que já estava na França, junto a um técnico que foi enviado para os serviços. De fato, o trabalho lá foi duro, pois aconteceu no meio de uma greve da fábrica de Collonges. Era difícil, portanto, conseguir ajuda pessoal da produção, apesar da boa vontade dos quadros superiores.

O mais interessante, foi que a mudança de cenário permitiu uma profunda reflexão, e a ruptura mais importante do estudo. Já não se tratava da extrapolabilidade do processo, mas de se estudar a própria viabilidade do projeto P&D.

O plano de otimização do processo estava na sua primeira versão, mas teve que ser revisto (Soltermann, O.E., 1981, ref. 03).

4.8 MUDANÇAS INTERNAS NA ORGANIZAÇÃO E HIERARQUIA

O fato de se encontrar uma realidade técnica, que não cedia aos planos adaptativos da realidade gerencial do projeto, a baixo custo financeiro, a resultados fáceis de se obter, reproduíveis que permitessem estabelecer uma *ciência do processo*, provocou a maior ruptura a nível do projeto. Esta ruptura provocou mudanças que se juntaram a outras impostas pela empresa e que levaram a mudanças na

do Gerente Geral de Pesquisas e Desenvolvimento no final de 1983:

O Centro de Pesquisas não teria Chefes de Departamento brasileiros até passar no mínimo cinco anos e não seriam mais empreendidas pesquisas desde o zero. No seu lugar seriam efetuadas pesquisas de otimização de processos e de auxílio a produção.

Um ano após a mudança do Chefe do Departamento de Sínteses encontrava-se unificado o Dpt^o de Pesquisas Pilotos com o de Sínteses sendo que o chefe do primeiro foi impellido para fora do Centro de Pesquisas devido a redução do número de gerentes do centro. Paralelamente a isso, o empreendedor gerente do Centro de Pesquisas aposentou-se, chegando no seu lugar um novo gerente francês. A nível do Centro, essas tranformações foram importantíssimas pois significaram uma drástica mudança na hierarquia. Todos necessitavam mostrar para os novos chefes quanto valiam e demonstrar a importância do seu trabalho e das pesquisas. O recado, claro como a água, de que não seriam empreendidas mais pesquisas custosas quando a SAC ou o para-tércio-butil-fenol, implicava no término das pesquisas nestes projetos. Se por um lado o Centro de Pesquisas demonstrava uma clara capacidade inovativa, por outro as Divisões da empresa brasileira no meio da crise econômica de 82/83 não estavam predispostas a pagar a conta de desenvolvimentos de longo prazo e incertos. O interesse era grande pela utilização da capacidade do Centro em auxílio da solução de problemas da produção: otimização e *de-gargalamento* de processos, racionalização, problemas com a qualidade de produtos, etc.. A saída, foi o repasse das contas dos custos de cada pesquisa à Divisão cliente, e uma pesquisa poderia ser iniciada somente-se existisse um pagante. Iniciavam-se no Centro procedimentos de gestão das pesquisas.

As mudanças na empresa culminaram após algum tempo, com a mudança do próprio presidente da companhia, a ser ocupada por um brasileiro, o Sr. Edson Vaz Musa. Houve mudança nos recursos humanos do Centro de Pesquisas a nível de assessores e coordenadores de pesquisa.

Foi forçada a saída de elementos para as fábricas e vice-versa. Esta hibridização é sempre de utilidades para as companhias e para as pessoas. Somente as pessoas que possuem um perfil que não se adapta às novas posições em geral é que não são bem-sucedidas. Não é somente um problema técnico. Os pesquisadores formado dentro do perfil da gerência anterior do Centro de pesquisas foram compelidos, convidados a se mudar de setor, visando a reciclagem de recursos humanos. Mas o que realmente estava em jogo era transformar um nascente Centro de Pesquisas em um Centro de apoio às atividades produtivas da empresa. Estas mudanças foram tão importantes que, por um lado, foram absolvidas por parte do pessoal como o caminho necessário para se fazer pesquisa industrial, por outro provocou um clima de frustração e de queda de produtividade sem precedentes. Junto com este clima, houve a demissão de alguns técnicos (corte de verbas), afastamento de assessores de pesquisa de outros grupos, técnicos e a nível da SAC significou a saída do Coordenador de Pesquisa da empresa um ano depois, e de alguns técnicos do projeto. O trabalho sob pressão tornou-se mais corrente, não pela demanda técnica da pesquisa, mas pela demanda financeira e pela necessidade de se terminar os trabalhos em andamento⁶⁾.

A nível da chefia do Departamento de Sínteses, tinha-se agora um chefe com pouca experiência administrativa, sendo que o anterior tinha grande habilidades neste sentido, que desenvolveu durante a sua gestão. Isto foi realmente embaraçoso para o Departamento, pois pesquisa e em primeiro lugar, uma harmonia entre recursos humanos com *uma administração que administre, mas não crie problemas de relacionamento humanos*. Os vestígios da filosofia de trabalho anterior baseada na aberta discussão dos problemas técnicos ficou restrita à pirâmide organizacional cada vez mais fechada, em oposição à anterior, aberta e mais matricial. A rotatividade do pessoal do Centro de Pesquisas foi iniciada com a miscigenação de equipe diferentes. Por um lado isto foi importante para a absorção de conhecimentos diferentes pelos recursos humanos e por outro, para adotar uma metodologia de controle, onde com certa rapidez e versatilidade, todos os técnicos seriam, em princípio, substituíveis. Mas o resultado, tal como observaremos mais adiante, foi

uma evasão de técnicos do Centro de Pesquisas como consequência da queda vertiginosa do nível de motivação e de criatividade da maioria das pessoas que passaram por este processo.

4.9 O PLANO DE OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO

Todos os caminhos levam a Roma. O que muda é o preço da passagem. Mas às vezes também não há transporte

O plano de otimização obedeceu não só a imperativos técnicos, mas à necessidade de se ter um projeto extrapolável, operável e financeiramente conveniente. Em termos do grupo de trabalho, isto significava, no meio da crise econômica de 82/83, a segurança da continuidade do projeto e do emprego do pessoal da equipe SAC dentro do Centro de Pesquisas. Com o sistema de gestão de pesquisas implantado no Centro, quem não tivesse pesquisas para pagar suas horas, arriscava, na possibilidade de ter que sair deste, ou até da própria empresa.

O plano de otimização foi audacioso. Para sua elaboração foi usada a heurística positiva montada durante todo o decorrer do projeto, mas o plano era ao mesmo tempo um questionamento dessa heurística positiva. Foi elaborado para o reestudo completo do processo, ainda que a grande atenção pairava sobre a própria precipitação. Nele entraram:

- * os requisitos que o Deptº de Engenharia da empresa requeria para a implantação de um processo,
- * os requisitos da Divisão Química Mineral em termos de:
 - operabilidade de processos (pessoal da produção),
 - qualidade do produto (laboratório de testes na borracha),
 - aumento de eficiência do processo (engenharia de processo),
 - poupança em termos de equipamentos (gerência da Divisão),
 - diminuição do impacto ambiental pela recuperação do sal

obtido na primeira filtração e lavagem (centro de pesquisas),

- a extrapolabilidade confiável do processo.

Por outro lado, no meio a toda essa ruptura *técnica*, que pode ser englobada no termo *extrapolabilidade do processo*, houve outra que afetou a rede *organizacional* da pesquisa (novo sistema de controle das pesquisas e mudança na composição das equipes) e o conceito *gerencial* de pesquisa (nova hierarquia, mudança no sistema de comunicação, de postos de trabalho), constituídas pelas mudanças já apontadas ao ponto 4.8 deste Capítulo.

É complicado explicar o plano de otimização aqui, pois foge dos objetivos deste trabalho. Mas, o plano visava:

1. Obter produtos dentro dos padrões estabelecidos;
2. Obter um Modo Operatório da precipitação que permitisse:
 - * diminuir a perda de gás carbônico sem reagir
 - * diminuir o consumo de gás carbônico na reação
 - * economizar energia
 - * aumentar a produtividade
 - * aumentar a filtrabilidade;
 - * diminuir o tempo operacional;
 - * simplificar a operação;
 - * obter as condições de extrapolação da escala de 60 litros para 40 m³.

O curioso deste plano é que, apesar do projeto ter avançado o suficiente e ter diminuído os graus de liberdade no campo experimental, este utilizava o saber acumulado até o momento para questionar todo esse saber. Significou uma virada no projeto. As dúvidas de um projeto, que seria em princípio extrapolável, que teve ensaios de extrapolação (sem ter conhecido a fundo os mecanismos da precipitação) eram todas colocadas em torno da própria extrapolação. Isto colocava em xeque-mate, por um lado, o prestígio adquirido pela equipe sob novas condições

impostas pela empresa. Por outro lado, não era somente o prestígio, significava para o grupo, o fim de uma forma de gerenciar o Centro, o Departamento, a equipe, o projeto SAC e isto significou, no fundo, a ruptura da identidade, da simbologia e da expressão política da equipe. As conseqüências foram sentidas depois, com a queda de produtividade da equipe, na qualidade do trabalho de pesquisa e na motivação do grupo.

Tecnicamente falando, o objetivo era obter funções de compromisso entre os parâmetros a serem otimizados e seus critérios de otimização. Este compromisso cria conflitos e dependendo de sua robustez, estes resistem aos imperativos daquilo prescrito no planejamento da pesquisa.

A frase colocada na primeira página desta seção, sobre caminhos da otimização tem uma nuance *pode não haver transporte para Roma*. Pior ainda quando a passagem que procura-se deve passar também por outras cidades. Esse compromisso as vezes não existe, ou se existe, é de alto custo. Foi o caso da SAC. A ferramenta matemática de otimização, o uso de computação, de métodos que estudam interferências de segundo grau entre os parâmetros, tudo pode parar contra o muro da realidade material, na dureza técnica do processo, na robustez dos conflitos entre parâmetros. Do ponto de vista sociológico, deve-se destacar a natureza subjetiva das decisões na escolha dos parâmetros de otimização, na ordem dos estudos, no caráter político da escolha dos ensaios que garantam a sobrevivência de uma equipe em função dos resultados proporcionados por estes.

4.10 INTRAPOLAÇÃO DE DADOS DA ESCALA DE 40 m³ PARA 60 LITROS

A primeira tarefa a realizar era encontrar a condição que permitisse na escala-piloto, a simulação da escala industrial. Isto é, as condições que permitissem obter o mesmo produto da escala de 40 m³, em condições ajustadas na escala de 60 litros. De fato, que correlacionar todo o comportamento físico-químico de um processo em

escalas diferentes por um único ponto referencial era arriscado, mas não havia outra alternativa. O problema não era tão simples, pois pela primeira vez, foi tentado fazer pesquisa pensando na correlação de escalas. O modo operatório de precipitação de SAC tem ao todo 17 parâmetros. Era impossível efetuar um plano de ensaios que incluísse todos eles, pois daria vários milhares de experiências. Assim, fazendo uso de *regras heurísticas*, adquiridas durante a pesquisa, mais outras da própria engenharia química, foram planejados ensaios visando uma condição de extrapolação que privilegiasse o estudo dos três parâmetros *mais importantes*. O estudo pontual dos restantes 14 parâmetros foi realizado efetuando-se mudanças nos outros três de forma programada, porém intuitiva (Soltermann, O.E., 1981, ref. 03). A intrapolação da escala industrial para a de 60 litros foi um grande desafio. O grave problema da precipitação é que trata de uma operação agitada, e tal como foi apontado no Capítulo II, a grande dificuldade é a escolha do invariante de extrapolação que permite manter a influência de somente um número adimensional.

Nesta etapa da pesquisa, o desenvolvimento dos equipamentos significou um novo patamar de conhecimento da equipe. Já não tratava-se simplesmente de pesquisa, mas de desenvolvimento. Isto significou ao Coordenador de Pesquisas, um certo esforço no estudo de operações unitárias, pois sua formação original era em Química. Foram testados quatro tipos de agitadores diferentes. Um deles era um protótipo na escala-piloto do agitador do reator industrial. Apesar deste ser um bom agitador para a dispersão líquido-líquido, funcionava bem também na agitação líquido-líquido-suspensão de sólidos, após o ponto de delificação. O agitador utilizado nos ensaios anteriores à fase de orientação era um agitador que não cumpria as mínimas regras de projeto, mas também foi testado. Foram fabricados agitadores de tipo parafuso e fita. Estes agitadores conseguem uma boa mistura sem provocar cisalhamento na proporção das turbinas ou pás de agitação. Este direcionamento da energia de agitação poderia aumentar a filtrabilidade do produto precipitado. A dispersão líquido-gás era conseguida graças a uma palheta de dispersão gás-líquido colocada no final do eixo do

agitador. O distribuidor de gás, no fundo do reator, foi redesenhado. O sistema de detecção do ponto de opalescência da massa reacional foi modificado. Instalou-se um visor por onde circulava a massa com representatividade do tempo de reação por meio de uma bomba peristáltica para não comprometer a floculação da sílica e, indiretamente, a filtrabilidade do produto. Foram introduzidas mudanças no reator com objetivo de se trabalhar com ele fechado, quantificando a perda de gás carbônico não-reagido. Foi melhorado o sistema de aquecimento indireto (elétrico) para simular o aquecimento provocado pela reação, por efeito da escala industrial e o aquecimento provocado pela reação, por efeito da escala industrial e aquecimento direto com vapor tal no reator industrial. O sistema para amostragem foi modificado para se poder conseguir amostras representativa a qualquer momento. A nível dos métodos analíticos foram desenvolvidas técnicas para determinação rápida do avanço da reação, da relação carbonato/ bicarbonato, da medição da velocidade relativa de filtração com maior precisão, da avaliação do balanço mássico.

Todo o trabalho de montagem foi efetuado pela equipe de manutenção do Centro de Pesquisas por indicação da equipe SAC. A equipe de montagem do próprio Departamento de Sínteses parou de existir junto com a saída do antigo Chefe de Departamento. Neste etapa, as análises de superfície BET já tinham passado para o Departamento Analítico do Centro. Isto significou uma fraca disponibilidade do serviço, sendo que esta era uma análise de rotina para a sílica. Por outra parte, o técnico que tinha trabalhado com o aparelho durante três anos, foi trocado por outro inexperiente. Isso atendia a nova filisofia de trabalho que pretendia uma organização *mais cartesiana* do Centro, onde aumentaria a Carga de serviço do Departamento Analítico, racionalizando os custos do agora Departamento de Estudos-Piloto e Sínteses. Os problemas com amostras foram numerosos, os atrasos no fornecimento dos resultados, tanto como e as dificuldades para o avanço da pesquisa foram. Isto dificultou o planejamento dos ensaios e, em vez de racionalizar o custo de um analista, aumentou-se o custo da pesquisa devido ao número de técnicos parados à espera do próximo ensaio, dependente dos resultados

das análises do outro departamento. Deve-se destacar que isto criava um clima de revolta que fazia cair abruptamente o moral da equipe, assim com a produtividade.

4.11 A CAIXA-PRETA DAS INCERTEZAS

Após as modificações de unidade-piloto foi encontrada a condição de extrapolação depois de 50 ensaios, no quais foram testados diferentes agitadores e invariantes de extrapolação. Não foi possível somente com a gitação encontrar a condição de intrapolação de um operação da escala de 40 m³ para 60 litros. Foi necessário mudar a temperatura inicial da operação, mesmo assim a micro-porosidade apresentou-se um tanto quanto elevada.

O estudo da intrapolação (estudo da reprodução na escala de 60l dos resultados da escala de 40 m³) constituiu uma verdadeira caixa de Pandora, de onde a cada ensaio eram extraídas surpresas:

- * dificuldade na filtrabilidade (mudança na coagulação das partículas precipitadas)
- * diminuição da lavabilidade da sílica precipitada (sílica que oclui carbonato de sódio)
- * alta micro-porosidade
- * sílica *não-acabada* (muda a superfície com o tempo).

A partir destes inesperados fenômenos compreendeu-se a gravidade dos problemas que se tinha pela frente. A intrapolação foi o ponto de partida para se otimizar o modo de operação da precipitação.

O ponto de partida foi o modo de operação HID 280, (ensaio número 280, da série realizada por HID de Hidejal), no qual foi reproduzido o modo de operação da sexta operação da segunda série de ensaios industriais, na condição de extrapolação que mantém invariante a relação potência/volume. O produto obtido foi de superfície levemente superior ao produto industrial e com o mesmo nível de micro-porosidade,

porém com filtrabilidade inferior aquele obtido na escala industrial. Trabalhou-se um ano na tentativa de otimizar o modo de operação seguindo o programa traçado. Os problemas técnicos encontrados foram, em linha gerais, a obtenção de um modo de operação simplificado, que apresentava problemas de reprodutibilidade, um modo de se operar com maior *rendimento e produtividade*, modos de operação com elevada filtrabilidade do produto mas com produtos de alta micro-porosidades.

Neste ponto devem ser feitas algumas observações sobre o estudo da intrapolação que explica em parte esse aparente comportamento contraditório. Do ponto de vista técnico observa-se que existe uma insuficiência técnica da teoria do escalamento (extrapolação) desse tipo de operação. A reação com o gás carbônico torna-se mais eficiente (até o limite da solubilidade do gás), quando é mantida uma boa dispersão líquido/gás. Isso significa uma condição de agitação com maior capacidade de cisalhamento e, em teoria, uma maior quebra das partículas de sílica floculadas, acarretando queda na velocidade de filtração. Na condição industrial é conseguida uma boa dispersão líquido/gás com uma baixa velocidade angular de agitação. A mesma dispersão é conseguida na pequena escala de 60 litros, com uma alta velocidade angular, mas neste caso, a energia mecânica transferida aos sólidos de sílica em formação, provoca uma diminuição do tamanho dos flocos formados. Assim, é reduzida a permeabilidade do meio filtrante, constituído pela própria sílica sob filtração. O exemplo a seguir mostra a insuficiência dos modelos e teorias sobre a extrapolação, quando além da extrapolação, é necessário levar-se em consideração, parâmetros de processo, cuja ação, é por assim dizer, uma sobredeterminação:

* A mudança de temperatura muda a superfície CTAB, a pós-adição de silicato de sódio permite fechar a micro-porosidade e pequenas mudanças nestes parâmetros não mudam a velocidade de filtração, mas quando ambos são mudados em alguns modos operatórios, muda consideravelmente a velocidade de filtração do gel obtido na precipitação!!! Estas dependências são chamadas freqüentemente de dependências de segundo grau. No caso específico da sílica, não existe

saída para o estudo das condições de extrapolação, a não ser empírico, seguindo ajustes sucessivos de escala o tomando um referencial da escala industrial com a escala-piloto. Este referencial somente pode-se basear na experimentação. A própria otimização em escala-piloto não passa posteriormente de uma extrapolação de comportamento de parâmetros para uma escala superior.

4.12 PATENTES E INFORMAÇÃO SOBRE A EXTRAPOLAÇÃO

Em nível do estudo bibliográfico que foi efetuado, para o tema processos de produção de sílica, foram levantadas 37 patentes sobre processos de produção de sílica precipitada por diversos tipos de processos (Vide tabelas nas páginas seguintes). Da análise destas 37 patentes sobre processos de produção 20 referiam-se a processos, métodos e operações de produção utilizando gás carbônico. Destas 20, duas eram russas e contém pouca informação. Das 18 restantes, 3 eram da *Columbia Southern Chemical Co. (EUA)*. Das 15 restantes, 14 pertencem à *Pittsburg Plate Glass Co. (PPG)*, dos EUA. e uma à Dupont de Nemours (EUA) como inventores os mesmos pesquisadores da Columbia. Algumas patentes da PPG tem e as restantes os mesmos inventores da Columbia um único inventor da empresa.

Quando foi efetuado o projeto de P&D da SAC, no Centro de Pesquisas da Rhodia, existia um único processo SAC implantado no mundo e em produção na PPG. Esta empresa detinha também o monopólio das patentes SAC, já que, aparentemente, os inventores das outras patentes da Columbia, tinham patentes dentro da PPG em data posterior, o que indica uma concentração por parte da PPG da atividade inventiva e inovativa nesse tipo de projeto. O curioso neste caso é que nenhuma das patentes sobre o assunto contém referências precisas ou diretas à extrapolação. Mais curioso ainda é que as 17 patentes sobre processos de precipitação de sílica por processos diferentes do SAC, apresentam a mesma carência de dados sobre a extrapolação, tal como mostramos a continuação:

**PATENTES PUBLICADAS SOBRE PROCESSOS DE
PRODUÇÃO DE SÍLICA ATÉ - 1982**

Patente	Classificação Internacional	Proprietário da Patente	Informação sobre extrapolação e/ou escalas
---------	--------------------------------	----------------------------	--

G.B. 1.580.672	C01B 33/154	Mittex	Descreve Equipamento industrial mas não dá detalhes do projeto
G.B. 2.043.041A	C01B 33/158	Mittex Anstatt	Nenhuma
G.B. 1.525.380	C01B 33/16 C07D 301/20	Shell Int.Co.	Nenhuma
G.B. 1.352.830	C01B 33/16 B01J 2/06	I.C.I. plc	Sem referência a escalas, processo contínuo
G.B. 1.113.504	C01B 33/16	Kali-chemie	Nenhuma
G.B. 1.171.651	C01B 33/16	Produits Chemigues Pechiney Saint Gobain	Nenhuma
G.B. 1.242.407	C01 33/16	Chemische Werke Müls	Dá exemplo de equipamentos existente no mercado mas sem dados de extrapolação
França 7.931.215	C01B 33/12	Rhône Poulenc	Comentários sobre um sistema fortemente agitado para precipitação não diz nada quanto a escala
G.B. 1.067.818	C01B 33/16	W.R. Grace Co.	Nenhuma

EUA 4.148.864	C01B 33/12	Mittex Akt. Vaduz Liechtenstein	Nenhuma
Suíça 4.672.15	C01B 33/16	Kali-Chemie	Nenhuma
R.F.A. 8.000.517	C01B 33/16	Degussa	Somente condições macroscópicas e termodinâmicas, porém não de escala.
França 1.105.821	C01B	Columbia Southern Chemical	Nenhuma (SAC)
EUA 3.709.980	C01B	Pittsburg Plate Glass Co.(PPG)	Referência à Escala de 16l. Sílica via Anidrido Carbônico (SAC)
França 1.064.230		Columbia Southern Chemical Corporation	Referência à escala de 100l sem correlação de escalas. (SAC)
EUA 3.250.594	23-182	PPG (Burke, O.W, Jr.)	2l. e 60l. (SAC)
EUA 3.503.707	C01B 33/00 33/14 33/18	PPG Industrial	Processo detalhado, nas escalas de 10l e 100l (SAC)
França 1.142.946	C01D	Columbia Southern Chemical Corporation	Nenhuma
URSS 3.653.25	C01B 33/12 C09E 1/28	Academia Nacional de Ciências da URSS	Nenhuma (SAC)
EUA 3.307.906	23-182	PPG Industries (Burke, O.W., Jr.)	70l. (SAC)

França 1.420.228	C01B	Instituto russo de pesquisas NIISP Zehkin.	Nenhuma (SAC)
EUA 3.719.741	C01B 33/00	PPG Industries (Burke, O.W., Jr.)	10ℓ. (SAC)
EUA 2.601.235	23-182	Du Pont de Nemours Co.	Escala de 10ℓ. (SAC)
EUA 3.281.210	23-182	PPG Industries (Burke, O.W., Jr.)	Escala de 3ℓ. 63ℓ. e condições de precipi- tação-piloto - (SAC) Formulação para incor- poração na borracha
EUA 3.172.726	23-182	PPG (Burke, O.W., Jr.)	Detalhes sobre recicla- gem do ewfluente, esca- la de 14ℓ. - (SAC) Formulação para incor- poração na borracha
EUA 3.172.727	23-182	PPG (Burke, O.W., Jr.)	Detalhes sobre recicla- gem de efluentes, esca- la de 14ℓ - (SAC)
EUA 3.235.331	23-182	Degussa	Tanque de 80ℓ.
R.F.A. 3.928.540	C01B 33/18	PPG Industries (Burke, O.W., Jr.)	Escala de 10ℓ. - (SAC)
EUA 3.855.540	C01B 33/18	PPG Industries (Burke, O.W., Jr.)	Nenhuma (SAC)
G.B. 8.834.76	C01B	Columbia Southern Chemical Co. (Thounhill F)	30 gal e 50.000 gal e nas precipitação Sílica sem controle de superfície (SAC)

França 1.352.354	C01B	Degussa	Referência a recipiente de 80ℓ.
EUA 3.085.861	23-182	PPG Industries (Thornhill, F et alii)	Escala de 6ℓ. (SAC)
EUA 3.250.594	23-182	PPG (Burke, O.W., Jr.)	Escala (SAC)
EUA 3.337.299	23-182	PPG (Burke, O.W., Jr.)	Referência a escala de 270gal - (SAC)
EUA 3.325.249	23-182	PPG (Burke, O.W., Jr.)	Muito boa descrição de parâmetros de processo, mas, nada sobre escalas (SAC)
R.F.A. 1.767.934		Chemische Fabrik pfersee gmbh	Referência superficial a escala de 60 kg e 21 kg de massa reacional
EUA 2.83467	C09C 1/30	Huber Co.	Nenhuma

As informações de processo ou de projeto contidas nas 37 patentes analisadas são simples exemplos de estudos realizados numa única escala piloto. A carência de informações sobre extrapolação não é esquecimento, nem muito menos falta de informação. Há por um lado, o oportunismo de proteger passo a passo uma inovação durante a fase de P&D.

Se fossem publicados dados obtidos em diferentes escalas ou resultados de extrapolação, estaria-se dando referências acerca das condições reais de operação industrial de processos. A indústria usualmente trabalha com uma correlação de escalas relacionada ao valor agregado do produto e à intensidade tecnológica deste. Mas, sempre o que está em jogo é o hiato tecnológico para se atingir a produção industrial (e o mercado). Assim, no caso da sílica, e no de muitos outros produtos, o que está em jogo é a escala de operação industrial. O verdadeiro poder exercido pelas patentes está no fato de mostrar exemplos do processo, mas sem proporcionar informações sobre escalas ampliadas ou fornecer dados de processo na escala industrial.

Quando publicam-se dados obtidos em diferentes escalas ou resultados de extrapolação, está se dando referência as condições reais de operação industrial do processo. A indústria química trabalha com uma correlação de escalas relacionadas ao valor agregado do produto e a intensidade tecnológica do produto. Mas, sempre o que está em jogo é o hiato tecnológico para atingir a produção comercial. Assim no caso da sílica e no de muitos outros produtos o que está em jogo é a escala de operação industrial. O verdadeiro poder exercido pelas patentes está em mostrar superficialmente o processo, mas nunca com referências à escalas ampliadas de produção ou dados de processo em escala industrial.

4.13 PATENTEAMENTO DE UM PROCESSO SÍLICA ANIDRIDO CARBÔNICO

Durante a realização do plano de otimização do processo sílica via anidrido carbônico (SAC), houve mudanças a nível dos recursos

humanos. A otimização significou a abertura de uma caixa preta até então ignorada ou omitida devido a razões práticas relacionadas com a definição de um projeto que não tinha por que ser necessariamente o ótimo. Esta crise na ciência do projeto foi a responsável por uma dupla ação. Por um lado decidiu-se patentear o processo até esse momento desenvolvido, por outro efetuar a plano de otimização do processo sob perspectiva de patenteamento.

O assessor de pesquisas que regressou da França, ficou alguns meses sem plano algum de colocação numa pesquisa determinada. Isto é um indicador da forte crise que atravessava o Centro de Pesquisas na época. Começou então a colaborar como assessor da própria pesquisa SAC ajudando o outro assessor de pesquisas(antigamente Coordenador de Pesquisas) que estava a cargo da pesquisa nesse momento. Devido a sua experiência no assunto SAC, teve designada a tarefa importante de verificar e enquadrar o processo desenvolvido dentro das possibilidades de patenteamento. O recurso foi o de patentear um processo SAC utilizando dados empíricos de diferentes escalas. Curiosamente, passou a ser a única patente que tinha-se, sobre 37 conhecidas até então que publicou dados sobre extrapolação de escala. A patente publicou dados nas escalas de 60 litros, 2 m³ e 40 m³.

De fato que isto significou um hiato importante no projeto de desenvolvimento. Foi patenteado um processo que mostrava em relações de escala diferentes, o processo de incorporação na borracha e os resultados obtidos, dentro de toda a verdade possível. É bom destacar que estes dados são fundamentais para algum concorrente desenvolver com um baixo custo um processo completo em um curto prazo. Se não fosse a repartição oligopólica (ou até monopólica) do mercado nacional de sílicas poderia haver cópia da patente e até seu melhoramento por concorrentes com visão menos científica e mais prática do mercado. A maior parte do investimento em P&D já tinha sido feito quando o patenteamento poderia ter significado a *entrega do ouro* ao concorrente. Porém este tipo de tecnologia descansa também nas dificuldades criadas pelas barreiras à entrada de novos concorrentes. A patente não faz menção às operações de filtração utilizadas. Foi efetuada uma versão em

francês da patente (*project de brevet*) e enviada a França para obter indicações antes de requerer a patente no Brasil. Após algumas modificações indicadas foi depositada no Brasil. A assinatura da patente como inventor, vinha acompanhada de uma declaração onde os inventores cediam a empresa todos os direitos. Segundo informações obtidas, pouco tempo depois a patente sobre o processo sílica via anidrido carbônico foi requerida na França, na Alemanha e nos Estados Unidos da América em nome de dois pesquisadores franceses (como inventores). No entanto o processo foi engavetado aqui no Brasil e a pesquisa parou pouco depois. Este fato foi suficiente para fechar alguns argumentos a nível da natureza da P&D sob relação de dependência ainda dentro de uma empresa transnacional.

4.14 O ESTUDO DA LAVAGEM ÁCIDA

A história da lavagem ácida foi, por assim dizer, a história de uma idéia marginal nunca aprovada pela hierarquia e, que foi testada com resultados radicais que mudaram toda a perspectiva do desenvolvimento do processo. Este resultado veio um tanto tarde, pois aparentemente já tinha sido tomada a decisão de paralisar a pesquisa no Brasil. Por outro lado, o custo acumulado da pesquisa já era elevado. O resultado da lavagem ácida significava retomar em outro patamar o estudo da escala piloto.

O estudo de otimização do processo levantou sérias questões sobre a extrapolabilidade de precipitação, mas possuía uma seria crítica com relação às duas filtrações necessárias e sua operação de neutralização intermediária. Isto contradiz lateralmente uma importante regra heurística da engenharia química que diz que uma operação de separação deve-se efetuar se possível uma única vez num processo. Pela natureza própria do ácido carbônico (um ácido fraco), não é possível levar adiante a reação de neutralização até o ponto final (neutralização total). Tão pouco pode ser utilizado um ácido forte para neutralizar a basicidade residual não atingida pelo ácido carbônico, pois os

carbonatos e bicarbonatos formam frente a um ácido forte o ácido carbônico, o qual se decompõe em gás carbônico e água, revertendo todo o efeito da utilização do gás carbônico como agente ácido. Por esta razão é necessário separar a sílica precipitada do sal formado, lavar a sílica e depois neutralizar com ácido forte a basicidade residual retida na sílica e tornar a filtrar e lavar a sílica já completamente neutralizada. Como obedecer então a regra heurística acima apontada? Essa pergunta implícita persiguiu a pesquisa desde seu início. A resposta foi uma idéia um tanto radical, que era a de efetuar a lavagem da torta de sílica básica sob filtração a vácuo com uma solução ácida seguida de lavagem com água. Era de fato uma idéia um tanto arriscada na visão de engenheiros de fábrica e dos chefes de departamento. Significava colocar de lado a tradição da empresa em termos de trabalhar com sílica. O fato é que nunca foi aceita como plano de pesquisa. Esta opção foi adotada como uma heurística positiva do problema, quando já toda a heurística negativa indicava a inviabilidade da utilização de duas filtrações do ponto de vista operacional e financeiro. Curiosamente, o estudo foi feito sem apoio explícito do novo chefe de departamento. Os ensaios foram de curta duração (dois dias) e feitos quase que em segredo pelo próprio assessor a cargo da pesquisa e mais um técnico. Após quase quatro anos de pesquisas mudou-se em dois dias a concepção do processo, efetuando-se três operações numa só. Isso não só foi pesquisa aplicada, foi uma inovação a nível de operação unitária. Os resultados foram surpreendentes, pois durante a lavagem ácida a velocidade de filtração é incrementada, provavelmente devido a fenômenos a polarização da camada filtrante. A lavagem da torta de filtração é mais eficiente com a utilização de menor quantidade de ácido e de água de lavagem final. O resultado foi o suficientemente avançado como para conseguir a encomenda, compra e montagem de um filtro a vácuo piloto de 1 m² de área filtrante em condições de efetuar o estudo da lavagem ácida a nível piloto.

Durante todo esse período já estava-se escrevendo o relatório final do projeto de desenvolvimento, indicando já que a pesquisa tinha seu final decidido. Chegou um momento em que houve sérias pressões do

Chefe de Departamento sobre o Assessor de Pesquisas, no sentido de que se não fossem obtidos os resultados por ele esperados o futuro do Assessor seria incerto. Eram duas filosofias de pesquisa em choque. O Assessor de Pesquisas demitiu-se da empresa, o Chefe de Departamento finalizou o relatório final da pesquisa, os técnicos da equipe foram para a fábrica ou para outras equipes, e o estudo da lavagem ácida não foi concluído na etapa piloto. Porém os objetivos da nova política do Centro de pesquisas foram alcançados ao menos sobre o assunto SAC: redução de custos, pessoal e dedicando-se a tarefas tais como a otimização de processos em auxílio das fábricas e sem empreender pesquisas desde o zero tal como foi o caso da pesquisa SAC. A filosofia de trabalho antiga, já tinha sido totalmente afastada do departamento em termos de elementos que resistiam à mudança. Alguns que ficaram no Centro foram cooptados pelas novas idéias. O Centro de Pesquisas que tinha antigamente 340 pessoas passou em 1983 para 240, reduzindo-se um ano depois para algo em torno de 160. Em 1991 sofreu novos cortes, tendo hoje somente em torno de 70 pessoas incluindo o pessoal administrativo. É de se observar que onde tinha antes a grosso modo cinco pessoas na estrutura de pesquisas hoje têm-se somente uma. Isso demonstra claramente os rumos do Centro de Pesquisas. Hoje é simplesmente um centro de apoio a algumas atividades produtivas do grupo Rhodia. Pelo limitado número de pessoas hoje não é possível pensar em grandes empreendimentos nem em pesquisas com o intuito de produzir processos, patentes ou outra forma de competição tecnológica de mercado. Em vez de ir na frente, abrindo novos caminhos (tarefa usualmente efetuada pela matriz), hoje está a reboque das atividades produtivas, pela solução de problemas concretos das fábricas, adaptação de pacotes tecnológicos, desenvolvimento de técnicas analíticas, solução de problemas a nível de produtos. Isto por si não é pouco e demonstra também uma forma rentável de pensar a pesquisa aplicada.

NOTAS DO CAPÍTULO III

1. A ETECAP, Escola Técnica Conselheiro Antonio Prado, foi fundada em 24/06/65. A fundação desta, foi uma tarefa empreendida por um antigo gerente da Rhodia, o Sr. Luciane Genevois. A criação da escola foi propícia para a formação de recursos humanos não só para a Rhodia como para toda a indústria química da região de Campinas.
2. A sigla SAC, significa Sílica via Anidrido Carbônico.
3. A sigla SAS, significa Sílica via Ácido Sulfúrico.
4. As informações sobre a elaboração da idéia foram levantadas em entrevistas e conversas informais com participantes do projeto.
5. *Reforming* é a definição do processo catalítico que permite transformar petróleo em produtos mais leves tais como benzeno, tolueno, etc, produzindo subprodutos como, anidrido carbônico e hidrogênio, entre outros.
6. Idem à nota 4 mais anotações pessoais durante o projeto SAC.
7. **Callon** é um dos autores cuja obra é referencial para a temática abordada. Vide **Callon, M., 1987**. A análise das relações entre os atores e as redes estabelecidas tem como ponto de partida alguns dos trabalhos de **Callon, Latour, Woolgar e Rip**. Vide bibliografia.
8. Baseado no relatório de **Marenco, C.E., 1980**, e entrevistas com o pessoal que participou da pesquisa.

CAPÍTULO IV

COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

1. CIÊNCIA FINALIZADA, SISTEMAS COMPLEXOS E EXTRAPOLAÇÃO

A tese de ciência finalizada, comentada brevemente no Capítulo I, propõe que no curso do seu desenvolvimento a ciência (disciplina ou campo do conhecimento), atinge um estado de maturidade como resultado do qual pode-se dizer que seu trabalho tenha sido completado.

Heisenberg, elaborou o conceito de teoria fechada. Ele diz que uma teoria fechada é válida sempre, onde seja que alguma experiência possa ser descrita por conceitos desta teoria, não importa quando as leis destas teorias provarão que são corretas. (Heisenberg, W., 1971, pp. 87-91) Böhme et alii fizeram objeções a este conceito.

A hipótese de validade continua de uma teoria contradiz o caráter de *falível* das teorias científicas. Popper, afirma, contradizendo, Heisenberg, que a conjectura, de que a meta da ciência é encontrar explicações satisfatórias, leva-nos à idéia de melhorar o grau de satisfação das explicações, melhorando seu grau de testabilidade, isto é, passando para as teorias mais bem testáveis; o que significa passar para teorias de conteúdo sempre mais rico, de mais alto grau de universalidade e de mais alto grau de precisão (Popper, K.R., 1975, p 185).

Do ponto de vista de Kuhn, toda teoria pode, em princípio, ser trocada por outra, porém apesar de existirem teorias totalmente mudadas por outras, esta não é a dinâmica mais comum das teorias científicas. O comum é que a velha teoria, em vez de ser totalmente deslocada, assuma características de teoria clássica. A exemplo disto, têm-se a física newtoniana. Foi superada pela relativista, mas na maioria dos usos práticos e *orientados*, é envolvida a física newtoniana, como no caso da mecânica dos fluídos na área de engenharia. Os novos desenvolvimentos na área continuam a utilizar os conceitos de mecânica clássica e não a relativista. A noção de *validade contínua* das teorias é a que prove o ponto de partida para o conceito de teoria fechada.

As *teorias fechadas* não param seu desenvolvimento e por sua vez não morrem. Este conceito é diferente daqueles elaborados por Popper ou por Kuhn:

Popper acredita que nenhuma teoria é imune à probabilidade de revisão. Kuhn apresenta o desenvolvimento científico semelhante à história política, numa cadeia sem fim de confusões, na qual a acumulação de conhecimento acontece somente a nível de resolução prática de problemas.

Deve-se reconhecer que num certo sentido é realmente possível falar de conhecimento definitivo. A questão é, portanto, a de produzir uma concepção do desenvolvimento da ciência no sentido em que propriamente integra a persistência das teorias. Existem em geral duas linhas de desenvolvimento da teoria, as quais podem ser chamadas de *intensiva* e *extensiva* (Böhme, G., et alii, 1976). No primeiro caso, a teoria fundamental é aplicada a sistemas para os quais a teoria é dita válida. Seria o caso da aplicação da mecânica dos fluidos para a resolução de problemas de extração líquido-líquido, por exemplo. No segundo caso, a teoria é aplicada a sistemas que não se encaixam no domínio para o qual a teoria foi desenvolvida como modelo. Neste caso, a teoria é continuamente complementada com o empirismo:

A teoria é utilizada como hipótese, como uma heurística: sua validade não é estabelecida como princípio. De fato, o problema é precisamente saber se o domínio da teoria pode-se estender até incluir o novo objeto (Böhme, G. et alii, 1976).

A especificação de teorias maduras para objetos complexos é o último estágio que as disciplinas científicas alcançam, e representa uma significativa *fronteira sem fim* para o desenvolvimento científico (Anderson, G. 1976, p. 21). Nesta análise, dois pontos são relevantes, segundo Böhme:

1. O desenvolvimento científico pós-paradigmático é desenvolvimento teórico.

A aplicação de teorias gerais aos fenômenos complexos com domínio, requer o desenvolvimento de teorias especiais, e isto representa pesquisa básica em tal área de pesquisa.

2. A pesquisa pós-paradigmática não cai dentro dos critérios internos da ciência para sua condução. Estes critérios obedecem a critérios externos. A teoria da finalização estabelece que *algo* existe entre a pesquisa básica pura e suas aplicações. Isto é, há uma pesquisa básica orientada, com aplicação específica fundamental e aplicação dos princípios da teoria a que esta aplicação e desenvolvimento teórico.

De fato, entre a pesquisa pura e suas aplicações existe toda uma comunidade praticante com seus condicionantes sociais e políticos. Quando trata-se de tecnologia, observa-se que a aplicação da teoria é limitada pela *resistência* do objeto sob consideração, pelo *interesses* que atravessam essa tal aplicação. Existe realmente *algo* entre a ciência básica e a aplicação final desta: e o processo de trabalho de invenção e de inovação (dois tempo e dois objetos diferentes).

A disciplina que aqui nos ocupa, as operações unitárias, campo de engenharia química, pode ser qualificada como baseada numa teoria fechada: a hidrodinâmica clássica. A engenharia química e as operações unitárias, já não estão numa fase de desenvolvimento básico na área de pesquisa e sim numa fase aplicativa e pós-paradigmática. A pesquisa durante a fase pós-paradigmática não enquadra-se somente nos critérios internos da ciência para seu direcionamento, obedecendo também e principalmente a objetivos externos.

Tal como foi observado no Capítulo II e no tocante a operações agitadas, é complicado prever o que acontecerá na extrapolação de escala. A teoria, aparentemente, é insuficiente para o domínio de novos objetos. Assim, torna-se necessário para aqueles *objetos duros*, não exatamente elaborar mais um pouco da teoria, mas sim levantar dados empíricos. Estes dados permitem situar o problema e

adaptá-lo à realidade técnico-econômica daquilo que é possível, não só dentro das perspectivas do projeto, mas também da *pool* tecnológico de bens-de-capital disponíveis para o caso. A visão geral de um avanço no desenvolvimento teórico na *disciplina* extrapolação não é observado, pois o conhecimento não circula, não é divulgado e faz parte da apropriação tecnológica das companhias detentoras de patentes de processos produtivos. (Cap. I, e Cap. IV).

Por outra parte, os conceitos de similitude, de regime, os invariantes de extrapolação são conceitos que formam parte da *disciplina* das operações unitárias, são válidas para para todos os objetos deste tipo, mas não necessariamente aplicáveis a qualquer objeto sem elaboração empírica adicional. Isto é realmente *preocupante* para a lógica científica *formal*, pois em síntese significa que uma teoria é válida para um objeto, mas não é aplicável a ele:

Se T é a teoria de extrapolação de um sistema, e S é o sistema onde a teoria deve ser aplicada, a pergunta então é:

A validade da teoria T para o sistema S .

Significa que T é aplicável a S ?

Nosso caso situa-se dentro das operações unitárias e tratando-se de mecânica dos fluidos, o sistema S é definido segundo as condições de contorno determinadas por propriedades empíricas $p_1, \dots, p_n$ e certas leis empíricas e regras heurísticas aplicáveis a este sistema.

São precisamente estes parâmetros empíricos os que permitem a formulação da teoria e das abordagens mais gerais que geram proposições aplicáveis a sistemas especiais. A introdução de leis empíricas à teoria, é necessária para desenvolver a estrutura conceitual em instrumentos práticos. Isto não é *per se* suficiente para se dizer que a teoria T seja totalmente válida para S . Algumas propriedades de S podem contradizer T . As propriedades $p_1, \dots, p_n$ são as que definem univocamente o tipo de objeto, sendo úteis para se determinar as condições de contorno. O problema da aplicação de T consiste em definir se S é um objeto especial do tipo T . O problema então, passa a ser

encontrar a solução para a teoria T dentro dessas condições de contorno. Assim, T pode ser válida para S, mas pode não ser aplicável a S, ou que S é um objeto de tipo T, sem ter solução em T para condições peculiares de contorno que definem S. (Böhme, G. et alii, 1983, p 139). A dificuldade na aplicação da teoria é dupla devido a:

- * As condições de contorno diferentes para cada caso;
 - * A complexidade da estrutura da teoria.
-

No caso da extrapolação de processos o problema está, por um lado, na similaridade de dois sistemas em escalas diferentes e, por outro, na heterogeneidade dos sistemas tecnológicos e na já tecnicamente demonstrada dependência dos parâmetros que governam os diferentes tipos de regime com o fator de escala de extrapolação (Capítulo II).

Para se ter o domínio da extrapolação de sistemas químicos agitados deve-se ter similaridade geométrica, cinemática, dinâmica, térmica e química. Porém, devido à mudança dos invariantes (que seguem equações diferentes), com a escala torna-se tecnicamente impossível manter constantes todos os números adimensionais que comandam as condições de reação. Por outro lado, as limitações de ordem econômica (custo de operação), financeira (investimento), socio-técnica (risco envolvido, facilidade de operação e de controle do processo de trabalho), efetuam mais um recorte nas condições de contorno do problema. É difícil, neste estágio de desenvolvimento de um processo, falar na aplicabilidade da teoria T a um sistema S, quando a definição de um sistema tecnológico (heterogêneo) não é somente técnica, como no caso de um problema mais *homogêneo* (ex: cinética de uma reação, coeficiente de difusão dentro de um catalisador, etc.).

A exemplo do estudo de caso, já tinham-se efetuado ensaios de extrapolação, ou seja, tinha-se parâmetros empíricos de extrapolação, relacionados com a similaridade, porém a complexa operação de precipitação passa por três condições físicas consecutivas diferentes durante sua execução (líquido-gás, gel, sólido-líquido-gás). Neste caso tecnicamente falando, não há teoria da extrapolação que

permita resistir a mudanças das condições onde deveriam ser privilegiados em cada fase um número adimensional diferente (Capítulo II p.). Há por outra parte, outro corte analítico para os dados empíricos, que consiste no domínio multidisciplinar do problema, no domínio das físico-químicas da polimerização, dos fenômenos de superfície, do controle da micro-porosidade num sólido amorfo e da filtrabilidade do produto precipitado. Aqui observa-se claramente que a imposição de critérios de qualidade de produto, junto a outros parâmetros técnico-econômicos, tais como produtividade, rendimento, etc., cruza dimensões dificilmente explicadas por uma única teoria, como a da extrapolação de sistemas agitados. Aqui é necessário, então, em primeiro lugar, definir o objeto da extrapolação, e isto é impossível de se efetuar, sem se recorrer ao empirismo, às regras heurísticas e ... à abordagem multidisciplinar.

No caso da extrapolação que não é uma disciplina com corpo próprio, observa-se que, devido à heterogeneidade tecnológica, a teoria existente explica de forma geral o comportamento do objeto sob estudo, mas não é necessariamente aplicável ao objeto sem recorrer à experimentação, e a alguns *estoques* de conhecimento empírico.

A teoria fundamental não pode ser aplicada a problemas concretos sem etapas adicionais, as quais supõe a formulação de desenvolvimentos teóricos especiais. Os princípios para a aplicação das teorias admitem teorias fundamentais que tornam-se diferenciadas em teorias especiais. Estas teorias especiais freqüentemente representam teorias de uma tecnologia em particular, elas servem para certas condições de contorno especificáveis em termos de objetivos técnicos externos.

2. P&D, NECESSIDADES EXTERNAS E TRABALHO

No estudo de caso observou-se que o produto final, objeto de P&D, foi marcado pela história do grupo de pesquisa, pela forma em que os problemas dominantes surgiram e pelas mudanças institucionais na

empresa e pela necessidade de legitimação do grupo de pesquisa. O produto técnico final foi resultado dessa construção.

Seguindo a linha de estudo de Callon e Latour (**Capítulo I**) o laboratório de pesquisa industrial consiste num lugar muito especial, onde o trabalho é uma mistura de tradições profissionais, recursos, negociações, decisões e também... trabalho científico muito duro!

Bruno Latour escreveu o artigo *Give me a laboratory and I will raise the world*. Esta frase que intitula um dos mais belos trabalhos de *antropologia de laboratório*, continua dentro da análise, de que um cientista pode usar como alavanca social, técnica e política um laboratório, para mudar a realidade do mundo. No caso de Newton, Hessen propôs sugerentemente que não foi somente Newton que estabeleceu as bases da mecânica, mas também os interesses diversos que permitiram dar aos conceitos elaborados por Newton a sua utilidade (Hessen, B., 1931, p 151-171).

Em termos tecnológicos poderia-se dizer que, discutir, negociar, planejar e constatar o sonho tecnológico com a realidade mediante a experimentação piloto e protótipos transforma a resistência material numa realidade útil ao ser humano. Este processo longe de ser um processo *técnico*, é, um processo social e politicamente definido pelo seu processo de trabalho, onde o técnico é a sua ferramenta de transformação que constitui um elemento de mudança do real. Em última instância, o técnico é um fator que deve nutrir-se constantemente do empirismo para adaptar-se às determinações sociais, econômicas e políticas.

Os técnicos dos laboratórios tecnológicos, antes de mais nada, são cientistas. Estes atores estabelecem redes a cada novo projeto, caracterizadas por alianças implícitas e explícitas, profissionais, técnicas, comunitárias e simbólicas, entre outras. A liberdade na formação e atuação nessas redes constituem uma componente importante do trabalho subjetivo, o qual impulsiona a motivação e a criatividade. Estas redes, tal como observamos no estudo de caso, iniciam-se na simplicidade, para terminar sendo complexas já no final

do projeto. A heterogeneidade das ações, componentes do trabalho real e do processo de negociação faz do laboratório de pesquisa industrial uma fábrica de conhecimentos e de trabalho prescrito, o qual alimenta a inovação e a renovação tecnológica. Este lugar tão especial, de onde saiu a indústria petroquímica, os polímeros e inúmeros bens duráveis que hoje compramos passou pelos laboratórios de P&D, tem hoje uma importância similar a que Marx deu no século XIX ao departamento de bens de capital, vulgo D-1. *Se o D-1 representa hoje indústria de bens de capital, os laboratórios de P&D deveriam ser o D-0, numa clara ordem natural de importância do desenvolvimento tecnológico e econômico.*

O trabalho técnico de laboratório, em termos de resultados, é a ponta de um iceberg. A parte submersa é o verdadeiro suporte social e político da parte visível. No capítulo técnico (Capítulo II), e no estudo de caso (Capítulo III) pôde-se observar a heterogeneidade e complexidade do trabalho de P&D tecnológica. A heterogeneidade é uma marca registrada dos objetos tecnológicos, mas esta, que aparentemente obedeceria a fatores econômicos e a condições objetivas de construção, opostamente, é constituída por um processo altamente subjetivo. Na construção de objetos tecnológicos deve-se convencer os grupos participantes, clientes, etc., de que o caminho de desenvolvimento escolhido é eficaz, rentável e necessário. A aleatoriedade deste caminho permitiria considerar o objeto técnico como uma possibilidade entre outras e susceptível a controvérsias. O determinismo tecnológico aqui não seria imposto, mas o resultado de negociações. No início, pode-se dizer que o objeto técnico é definido por uma idéia, uma invenção ou simplesmente um conjunto de interesses diversos. Aqui são tomadas decisões de importância estratégica, seja sobre a pesquisa, sobre a questão comercial ou meramente políticas. As decisões estritamente técnicas são pouco claras, raramente estudadas e para ninguém transparentes. Isto ficou claro no estudo de caso, onde se demonstrou que prevaleceram interesses diversos. Vergragt afirma que as pressões econômicas e tecnológicas são percebidas antes do processo decisório (Vergragt, P.J., 1988, p4). Matrizando a conclusão de Vergragt, observou-se no caso da SAC, que isto não acontece em nichos pouco permeáveis, ou um tanto fechados. A decisão inicial do desenvolvimento

do processo SAC obedeceu a uma forte carga de interesses da comunidade praticante e aos interesses de legitimação de um grupo (Centro de Pesquisas), ficando despercebidas as supostas pressões econômicas e tecnológicas. Dependendo da estratégia e dos interesses dos grupos participantes do processo decisório e dos problemas apresentados como dominantes, a heurística negativa do assunto de pesquisa pode não ser elaborada com suficiente *expertise* ou simplesmente visando satisfazer interesses dos grupos participantes. Neste caso específico (estudo de caso), as pressões econômicas ficaram claras somente no final do projeto.

As regras heurísticas são de importância pois permitem julgar os caminhos do planejamento da pesquisa. Os técnicos efetuam esse julgamento de acordo com as regras, mas os técnicos são figuras fundamentais no processo decisório onde os problemas apresentados como dominantes para o processo decisório, são uma ótica destes. A resistência técnica de alguns objetos permite, contraditoriamente, tornar mais subjetivo ainda o processo decisório. A resistência material dos fenômenos físico-químicos à imposição de requisitos econômicos como fim produtivo, leva a mecanismos diversos de auto-validação da comunidade praticante, seja na dilatação dos prazos dos projetos, seja na negociação de novas vias de estudo, etc.

As mudanças institucionais na empresa ou corporação provocam alterações na hierarquia, mudanças de pessoas e, portanto, mudanças nas redes de influência e de interesses, afetando o mecanismo de decisão. Em muitos casos, como o exemplo da SAC, houveram mudanças institucionais provocadas, ora pela realidade econômica que o país e a empresa atravessaram em 1983, ora pela necessidade de se adaptar a empresa a uma nova filosofia de pesquisa e à natureza internacional da empresa.

O trabalho de pesquisa industrial consiste numa coletivação de esforços heterogêneos, na utilização do trabalho subjetivo e do trabalho criativo coletivizado no trabalho real (experimental) de pesquisa, e do qual é extraído o trabalho prescrito. Este é o depositário final do saber tecnológico, na forma de instruções de operação, normas de trabalho e especificação de equipamentos. A diferença fundamental com o trabalho rotinizado, onde tenta-se

aproximar o trabalho real ao trabalho prescrito para a produção, é que a pesquisa executa o trabalho real, procurando colocá-lo entre critérios técnico-econômicos de conveniência. Os resultados finais dos ensaios constituem mais um acúmulo de trabalho prescrito. O trabalho real, em termos de experimentação, possui *per se* fracas prescrições, as quais consistem em hipóteses e caminhos de experimentação a serem seguidos. É normal que, o elemento empreendedor é o líder do projeto que controli (em equipe) a estrutura social e política que pela sua vez permite quase que ludicamente montar mediante associação político-científica, objetos, conhecimentos, habilidades, símbolos e parâmetros econômicos em novos objetos, sob a forma de trabalho prescrito.

O laboratório, a vida do laboratório e os resultados alcançados, isto é, o trabalho material realizado neles foi esquecido por muito tempo pelos epistemólogos, que também ignoraram o trabalho material dos cientistas, para privilegiar a atividade intelectual e se concentrar somente na construção das teorias (Callon, M., 1989, pag. 174). É no laboratório que se dá o processo de construção dos argumentos, de fabricação dos resultados, de ajuste das teorias. E este processo é contínuo (diz Callon), referindo-se um tanto ao laboratório de ciência básica. Mas, tanto no laboratório de ciência básica, como no de ciência aplicada, observa-se um processo de construção, cuja diferença pode ser analisada à luz do estudo do processo de trabalho.

3. PATENTES, EXTRAPOLAÇÃO E REGRAS HEURÍSTICAS

Já foi observado (Capítulo III) que nenhuma das patentes sobre o assunto sílica, que dizem respeito a processos de precipitação, contém referência alguma a condições de extrapolação, ou dados em escalas diferentes ou abordagens à escala de produção.

Os dados que aparecem nas 37 patentes analisadas dão exemplos realizados em uma única escala-piloto, mas sem dar correlação alguma de escalas. A carência destas informações sobre extrapolação de escalas é esquecimento, nem muito menos falta de informação. Há, por um lado, o

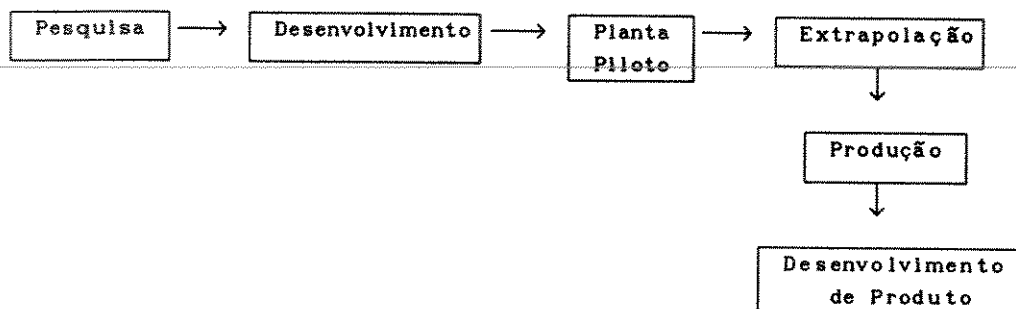
oportunismo de proteger passo a passo uma inovação no caminho de P&D. Por outro lado, a publicação de dados de laboratório ou pilotos dá a segurança de que dificilmente a patente será copiada e/ou superada por patentes concorrentes baseadas nesta, sem grandes investimentos. Se em vez disso publicam-se dados obtidos em diferentes escalas, ou resultados de extrapolação, dão-se diretamente as condições reais de operação industrial do processo. A indústria química usualmente trabalha com uma correlação de escalas relacionadas ao valor agregado e à intensividade tecnológica do produto. Mas, sempre, o que está em jogo, é o hiato tecnológico para se atingir a produção comercial. Assim, no caso da sílica e no de muitos outros produtos, o que está em jogo é a escala de operação industrial.

O verdadeiro poder exercido pelas patentes está em mostrar como se faz o produto, mas nunca com referência a escalas ampliadas de produção ou dados de processo em escala industrial. O poder das patentes descansa sobre os pilares constituídos pelo freio à invenção e à inovação, na sua natureza monopólica, e no fato importantíssimo de que as patentes protegem objetos que são realmente diferentes daqueles que são objeto de licença.

O produto final a se obter no processo industrial, poderá ser o mesmo, da escala piloto mas os procedimentos e as condições de obtenção mudam com a escala. Essa diferença existe nas operações químicas agitadas que envolvem fenômenos mais complexos de que uma simples reação, mistura ou dissolução. O exemplo disto é a precipitação de sílica com gás carbônico. Assim, qualquer tentativa de cópia e reprodução de patentes até uma escala industrial, consumiria grandes investimentos.

As empresas detentoras de patentes possuiriam, a princípio, dados de extrapolação, quando o assunto faz parte de seu *métier* produtivo. De fato, que isso não é publicado, seria singelo dizê-lo. Resta bastante dúvida de que as empresas que fazem P&D, gastem grandes somas em estudos de extrapolação, quando as patentes tem o objetivo de proteger determinados processos (com fins estratégicos), sem ser parte, nesse momento, do *métier* da empresa (exemplo: futuros negócios).

Constant, apresenta um fluxograma do ciclo de vida de um produto o qual dificilmente é encontrado na literatura econômica e/ou sociológica, mas reafirma pontos de importância:



Ele afirma que este modelo não é estritamente linear, mas as etapas gerais ficam claras. Usualmente as empresas patenteam as etapas de pesquisa básica, de desenvolvimento de bancada e piloto e, às vezes, a aplicação do produto final, mas raramente as etapas de *scale-up* ou a escala industrial. Mas, é aqui onde situa-se o elo entre o desenvolvimento técnico e o econômico, e é por isso, que não se publica, pois essa informação representa poder. Se a informação existe, sua força é não publicá-la. Se não existe sua força, esta em que o concorrente acredite ou suspeite da sua existência. Isto explica a função da tecnologia e do sistema de patentes como organização jurídica e conhecimento especializado por um lado, e como sistema organizado de poder por outro.

O conhecimento geral do *scale-up* fica assim não publicado ou fraturado em diferentes companhias em forma de apropriação privada; ele não é protegido por patentes, faz parte do *know-how* das empresas e seu conhecimento não é divulgado explicitamente entre os técnicos. As publicações referem-se sempre a obras e trabalhos de *como se efetua* em geral a extrapolção, mas não são abordados os problemas que verdadeiramente constituem o coração do conhecimento aplicativo e sua base empírica. Existe, sim, uma transferência implícita de

conhecimentos, efetuada pela comunidade praticante: técnicos, químicos, engenheiros, tecnólogos. A verdadeira transferência de conhecimentos de uma empresa para outra é carregada por eles, usualmente na mudança de empresa. Em princípio, esta transferência dá-se sem informação escrita, (devido a razões de sigilo industrial), na forma de regras heurísticas, anotações pessoais e uma base social e política da comunidade para a obtenção de dados entre os colegas.

A existência de um conhecimento não-formalizado, sob a forma de regras heurísticas, leva a pensar no conhecimento que é um tanto dificultoso de ser medido, mas que poderia se constituir num indicador da capacidade intelectual de um país. A medição da capacidade inventiva e inovativa mediante indicadores apontam para o desempenho oficial de institutos de P&D, ou ao número de patentes e de trabalhos publicados. Essa é uma política de opulência estatística dos investimentos dos países centrais. Quanto mais se investe, mais resultados são obtidos. Mas há resultados curiosos que constestam essa *forma de medir*:

Como medir, então, essa eficiência inventiva ou inovativa, de forma relativa?

Se fôssemos analisar pelo lado da dotação orçamentária somente, ou pelo número de patentes, não se poderia concluir sobre a capacidade de articulação social e política em torno de objetivos *tecnológicos* comuns, nem sobre o conhecimento acumulado em nichos ou comunidades praticantes, ou sobre o potencial de realização destas. Os mecanismos pelos quais são abordadas ou aproveitadas esses nichos de criatividade são uma questão política, assim como é a sua medição. O que vale para uma sociedade não é tanto ter uma grande comunidade científica, que publica nas revistas de ponta somente, mas também uma comunidade tecnológica variada e distribuída pelo tecido social, com capacidade de formalização política e realização das idéias. A nível tecnológico e na química industrial, por exemplo, poderia-se medir a capacidade inovativa por uma relação que permitiria avaliar o número de projetos tecnológicos extrapolados com êxito, com relação a projetos empreendidos. Isto daria de fato um índice, de produtividade criativa. Como primeiro acordo de definição, esta última pode se definir como:

$$\text{produtividade criativa} = \frac{\text{número de inovações extrapoladas}}{\text{número de projetos inovativos empreendidos}}$$

este índice poderia assinalar um alto grau de criatividade em países que possuem fracos investimentos em P&D, mas que tem grande preocupação com a geração e a difusão de tecnologias apropriadas, para a solução dos seus problemas. Esta é uma componente importante e subjetiva do trabalho criativo, que é inerente a qualquer sociedade humana.

4. A EXPERIMENTAÇÃO-PILOTO: UM PARADÍGMA METODOLÓGICO

A experimentação-piloto constitui a base empírica para a definição das condições de contorno de um problema de engenharia química. Ela é um paradigma metodológico que assenta-se na heurística. A experimentação-piloto é a junção entre a verdade circunstancial, material, sobre-determinada, não-facilmente verificável dos fenômenos físico-químicos e a lógica formal. Permite o desenvolvimento de raciocínios algorítmicos e a formulação de algoritmos que são a complementação da definição das condições de contorno de um problema.

A pilotagem é necessariamente uma etapa prévia à extrapolação de um processo produtivo. Pode até ser evitada em alguns casos, mas nem sempre pode ser eliminada.

4.1 A PILOTAGEM E A EXTRAPOLAÇÃO

Quando fala-se em extrapolação de um processo, pensa-se sempre numa relação linear de escalas entre o sistema piloto e a escala ampliada (L). Tratando-se de operações unitárias, observa-se que todos os parâmetros que dominam estas operações, que tratam de regimes de tipos dinâmicos, térmicos ou químicos, dependem da relação de escalas. Curiosamente, como já foi apontado, a engenharia química esquece destas

correlações como uma forma de se evitar a abordagem empírica e heurística a nível-piloto (Capítulo II). Do ponto de vista econômico, a experimentação é cara, e requer habilidades multidisciplinares, já constituídas. Porém, dependendo do projeto, ela é a única via de se extrapolar com sucesso, alguns processos de produção. Se, pelo contrário, parte-se para a abordagem de tipo *paraquedista*, que raramente funciona, torna-se difícil a otimização do mesmo sem grandes custos adicionais.

Há uma dificuldade da comunidade praticante da engenharia química em entender a teoria completa da mecânica dos fluídos, estudar as operações unitárias para se chegar à extrapolação destas. Porém, a engenharia química, a mecânica dos fluídos e as operações unitárias, são um *construto* de genialidade prática. Não é necessário conhecer toda a teoria profundamente para saber, tal como mostramos, que há uma correlação entre parâmetros de processo e fatores de escala. A engenharia química, mediante *construtos* tais como os números adimensionais e as equações de escala, mostra de forma simples, a dependência de todos os parâmetros de processo com relação à escala e cada um deles diferentemente. Mas, estes são ainda casos ideais. A questão dos sistemas reais é mais complicada, pois cada problema é diferente e usualmente é um misto de problemas entre diferentes regimes.

A primeira definição de um sistema químico é heurística. Um sistema é explicável pela teoria, porém a teoria é aplicável somente após a definição empírica das condições de contorno, tais como demonstramos no primeiro ponto deste capítulo. Falando da engenharia química, observa-se que os dados empíricos são levantados visando a aplicação da teoria à realidade material, para direcionar o comportamento material, em função de objetivos econômicos.

Em termos de extrapolação, sabemos pela análise simples de tabelas que correlacionam parâmetros de processo com fatores de escala, que é impossível satisfazê-las, ainda que idealmente, em escalas diferentes. Toda operação unitária envolve questões de regime químico, térmico e dinâmico. Mesmo considerando-se o equilíbrio químico somente, é impossível manter as mesmas condições com o aumento da escala.

Verifica-se que a relação entre os parâmetros entre a escala-ampliada e a escala-piloto é sempre uma função do fator de escala (L). Porém, mesmo dentro de um regime específico, as funções variam diferentemente com o fator de escala, o qual significa que é impossível manter as condições-piloto na escala ampliada e isso vale para qualquer regime.

Em alguns casos, podem-se privilegiar alguns números adimensionais a despeito de outros, e nessas condições são obtidas condições de aumento de escala parecidas, mas sempre é necessária a pilotagem como meio empírico de definição do problema de extrapolação.

A realidade material possui suas leis. A imposição de parâmetros sócio-técnicos a essa realidade material com o objetivo de conduzi-la a um fim de utilidade humana, tem suas contradições solucionáveis somente com o empirismo. O conceito de extrapolação, de aumento de escala no sentido de *ir além de ultrapassar*, significa entrar num campo desconhecido. No caso de fenômenos físico-químicos, há uma teoria que explica os fenômenos, mas a teoria somente é aplicável após o conhecimento adequado do problema.

Pode-se dizer a experimentação-piloto é um *modo de ver* essa realidade, de construção e de construção de imagens de um sistema visando a escolha entre decisões que levem a uma realidade material maleável. É por outro lado, um modelo heurístico de abordagem de um problema, que caracteriza-se pela sua multiplicidade e praticidade, sendo na sua ausência, um modelo funcional de soluções. A forma dessa funcionalidade adapta-se pelo confronto funcional entre o homem e a realidade material, por meio do trabalho, o verdadeiro meio de transformação da realidade.

No piloto há a conjunção de habilidades e saber de maneira multidisciplinar, em uma composição coletiva do trabalho, onde a componente heurística é fundamental. As regras heurísticas da engenharia química estão sempre presentes, a componente subjetiva do trabalho garante a criatividade no processo de trabalho. A divisão entre o trabalho intelectual e manual não é clara e o trabalho raramente é rotineiro. O que torna-se rotineira, é a metodologia de trabalho experimental. O trabalho real criativo é acumulado sob a forma

de trabalho prescrito. Este serve posteriormente à definição do processo e do projeto sob a forma do desenho dos bens de capital necessários e às instruções de operação da futura planta industrial. Esta forma de produção é hoje a forma de reprodução de formas cada vez mais intensivas da relação capital/trabalho. As rotinas surgem de experimentação-piloto sob a forma de procedimentos, para serem após transformadas em instruções de operação e equipamentos.

Com a *quimização da vida* e a importância dos fluxos *fluidos* na vida atual, os fenômenos que regem a matéria são, a cada dia, levados a regiões de trabalho difíceis de serem extrapolados, devido ao *jutaposição* do tipo de regimes necessários para a viabilização produtiva dos fenômenos físicos. A forma de dinamizar estas regiões sempre obscuras do conhecimento, está na liberação da criatividade pela comunicação sócio-técnica dos processos produtivos, com a incorporação da *cultura heurística* aos processos produtivos de forma deliberada.

O domínio da arte de inovar, efetuar com êxito protótipos e estudos-pilotos, para finalmente se chegar à extrapolação produtiva é um sério desafio para o desenvolvimento dos países. O desenvolvimento e o domínio de tecnologias apropriadas, passa pelas decisões das esferas políticas. A construção dos objetos tecnológicos e sua extrapolação com êxito possuem alguns determinantes superestruturais tais como a política de patentes, a falta de políticas que incorporam a heurística, o saber de experimentar no campo tecnológico e o respeito pelos resultados empíricos.

Para se chegar a um estado de coisas deste tipo, deverá ser modificada alguma coisa no sistema de patentes e provocar uma *hidridização* do conhecimento multidisciplinar, apostando na importância dos levantamentos empíricos e na incorporação do saber heurístico e da experimentação-piloto nas escolas de engenharia. Há necessidade também de incorporar o saber sociológico atual aos processos produtivos (numa forma mais sensata que o vulgo *management*), assim as ciências da engenharia poderão tirar a *cegueira anticriativa* do atual paradigma taylorista/neotaylorista de produção. Mas essa é uma decisão, como sempre, política. O risco é se abrir a caixa-preta tecnológica aos perigos da concorrência, visando baratear os custos de pilotagem e

extrapolação e tornando o processo de P&D mais versátil e criativo.

Curioso é ainda que a extrapolação e a experimentação-piloto são questões malditas a nível de publicações e patentes. Somente fala-se em resultados obtidos a nível-piloto ou comenta-se sobre unidades industriais em funcionamento. O processo de trabalho raramente é descrito, muito menos o trabalho a nível-piloto. Porém, este e a extrapolação são os verdadeiros motores do desenvolvimento tecnológico.

Quando trata-se de economia, apesar de estes dois assuntos serem a junção entre o conhecimento científico e o desenvolvimento econômico, não há trabalhos de relevância sobre este tipo de problema, que leva inscrito o principal problema atual da humanidade: a falta de criatividade para incorporar a experiência ao processo produtivo.

4.2 MITOS E REALIDADE DA UNIDADE-PILOTO

Vitruvius dicce che i piccoli modelli sono tutti inutili per appurare gli effetti di quelli più grandi; Ed Io voglio dimostrare che questa conclusione è una falsità.

(Da Vinci, L., Cuaderni, 1500 A.D)

LOCAL DE INSTALAÇÃO DO PILOTO

O local de instalação de uma unidade-piloto tem repercussão sobre seu custo de implantação e de pesquisa.

A princípio, os locais possíveis são dois: em uma fábrica, aproveitando vantagens práticas tais como serviços básicos, ou num centro de pesquisas onde a vantagem poderá ser a qualificação dos serviços analíticos e de processos. Mas o problema é um pouco mais complexo. Analisaremos mais profundamente estes dois aspectos.

INSTALAÇÃO DENTRO DE UMA FÁBRICA

O caso mais comum de instalação do piloto dentro da fábrica é nos estudos de *de-gargalhamento* (debotlenecking) de unidades e em geral na otimização de processos. Existem casos de desenvolvimento onde o piloto é instalado na fábrica, por causa da disponibilidade de matérias-primas; disponibilidade de vapor de alta pressão; escoamento de produtos para a unidade de tratamento dos efluentes normais da fábrica; análises de rotinas no próprio laboratório da fábrica; possibilidade de exposição dos pesquisadores ao pessoal de produção, e de se obter críticas e informações dos próprios supervisores de produção, e em geral, de se manter um diálogo com aqueles que apontam o conhecimento da operabilidade de um processo e a manutenção de suas condições de operação. A equipe de manutenção é de fundamental importância, no caso de pilotos instalados na fábrica, pois eles são usualmente os responsáveis pela montagem e as modificações da instalação. A implantação dentro de uma fábrica é obrigatória quando utilizam-se matérias-primas dificilmente transportáveis (alto risco), tais como cloreto de metila, ácido cianídrico, perfluoroetileno, etc. Quando é necessário utilizar fontes energéticas de alto nível (vapor supercrítico, energia elétrica contínua para estudos de eletroquímica), a instalação dentro da fábrica também é desejável. A operação dos pilotos dentro de uma fábrica tem seus inconvenientes:

- * O afastamento relativo dos pesquisadores da escala laboratório que *inventaram* o novo processo. Existe aqui o risco de desvio técnico dos pressupostos já alcançados na escala de bancada.
- * A insuficiência dos métodos analíticos do laboratório da produção para se fazer frente aos desafios e incertezas da experimentação-piloto.
- * O risco de se ver o estudo-piloto relegado a segundo plano, frente aos interesses da fabricação principal.

As soluções apropriadas para o trabalho-piloto dentro de uma fábrica vêm pela constituição de um grupo *missão*. Este grupo é formado pelo pessoal que participou do estudo na escala laboratório, mais técnicos provenientes da própria fábrica, utilizando as instalações analíticas da fábrica, mas continuando com a dinâmica de desenvolvimento e de acompanhamento dentro do laboratório de pesquisas. Uma das complicações freqüentemente levantadas para se trabalhar dentro da fábrica, são as limitações provenientes das regras de segurança e de divisão do trabalho a serem observadas dentro do seu recinto. A nível de instalação-piloto, isto poderá implicar em custos adicionais, visando uma *pilotagem segura*.

INSTALAÇÃO DENTRO DE UM CENTRO DE PESQUISAS:

Dentro de um centro de pesquisas, a operação de um piloto coloca outras questões. Os custos de montagem dos pilotos poderá ser elevado, pois deverá ser providenciado o estoque apropriado das matérias-primas (refrigeração, estoque em condições seguras, etc.), retirada dos produtos e efluentes gerados, escala de turnos para atender as necessidades do estudo, ocorrendo o mesmo com a utilização do pessoal da manutenção e de apoio analítico. Aqui os custos de mão-de-obra dificilmente são compartilhados pelo pessoal de produção.

As vantagens de se trabalhar dentro de um centro de pesquisas levaria, em princípio, a um aprimoramento da qualidade do projeto de desenvolvimento, já que os *inventores* participam da escala-piloto. Existe, por outra parte, o risco (um tanto comum) de que parte do trabalho efetuado no laboratório, sem auxílio da *expertise* dos homens de produção, torne o processo sob desenvolvimento um tanto complicado ou difícil de se operar em termos produtivos. Nem todos os processos desenvolvidos são, em última instância, extrapoláveis após saírem dos centros de pesquisa. É comum que sejam efetuados ajustes *realistas*, com o objetivo de possibilitar seu aumento de escala.

Os homens do laboratório contribuem freqüentemente para a orientação dos ensaios da escala-piloto, efetuando estudos em paralelo na escala laboratório. O fato do piloto estar montado dentro de um

centro de pesquisas, leva consigo as vantagens de se ter à sua disponibilidade, recursos analíticos mais poderosos, que no caso de ser instalado numa fábrica. A disposição de uma *expertise* bibliográfica e de uma certa erudição na pesquisa de processos, faz de um centro de pesquisas um lugar apropriado para projetos de unidade-piloto. Tal como veremos no estudo de caso, deixar o projeto de P&D somente em mãos dos pesquisadores de um centro de pesquisas não é uma política acertada, quando já se está na etapa de experimentação-piloto. Quando um projeto de longa duração é efetuado por uma comunidade fechada, cria-se, como sempre, uma rede política de influências, que faz aparecer problemas dominantes, que levam às decisões que satisfaçam principalmente, interesses dessa comunidade. Socializar o projeto em termos de diferentes perfis de participantes, produz o efeito de atender, de forma apropriada, aos requisitos exigidos pelo cliente da pesquisa.

Tratando-se de pesquisa tecnológica, a gíria científicista de *ser utópico para ser realista* a qual é uma exacerbação da realidade isolada de alguns cientistas, é verdadeira na pesquisa tecnológica, com uma grave inversão ideológica, *ser realista para evitar a utopia*.

A noção de realidade tecnológica é social é politicamente determinada, mas de uma forma mais explícita que a realidade científica. Isso é explicado pelo fato de que os paradigmas tecnológicos são socialmente mais abertos que os paradigmas científicos. No desenvolvimento tecnológico, além do trabalho científico, os requisitos do mercado, os fatores ergonômicos do trabalho, a subjetividade das decisões, os fatores institucionais, entre outros, são seus condicionantes.

Existem fatores que afetam fortemente as características dos estudos na escala-piloto:

A qualificação da equipe de pesquisa é de fundamental importância tal como a dos operadores de unidade, o domínio de habilidades especiais, o treinamento dos mesmos em experiências similares, o tipo de gerenciamento adotado para administração dos

recursos humanos (hierarquias, organização do trabalho, etc.).

O desempenho apropriado da equipe de manutenção é também importante. Não é necessariamente verdadeiro que uma boa equipe de manutenção de fábrica possa ser igualmente eficiente na montagem e acompanhamento piloto. O problema é de escala, pequenas tubulações e válvulas requerem um certo conhecimento de mecânica, mais fina, que a requerida para o nível industrial. A instrumentação-piloto requer grande inventiva por parte do pessoal de manutenção, já que comumente, a instrumentação de tipo industrial não é adaptável. A manutenção-piloto trabalha constantemente sobre o *redesenho* da instalação, no entanto, a industrial trabalha na manutenção das condições de projeto da unidade. No máximo, a manutenção industrial introduz mudanças para o *de-gargalamento* de unidades, as quais foram previamente testadas numa escala menor.

A segurança das unidades-pilotos é um aspecto de primeira importância. O trabalho em condições de pressão e temperatura fora do normal, a manipulação de substâncias tóxicas, mutagênicas, inflamáveis ou explosivas leva a tomar medidas de controle de perigos e de contenção de riscos ocasionados por eventuais acidentes relacionados com a unidade-piloto.

A concepção da unidade-piloto define diretamente o tipo de desenvolvimento e reflete o processo de trabalho que a caracteriza. Se for piloto com operação em regime contínuo ou descontínuo, a caracterização das equipes e a organização do trabalho muda radicalmente. Por outro lado, se o piloto for automatizado ou não, muda muita coisa também em termos de prescrição do trabalho de pesquisa.

O estudo-piloto pode ser concebido numa unidade-piloto multi-propósito ou se o piloto é construído somente para o estudo do processo-objeto da pesquisa, a situação pode ser diferente.

Existem também aspectos que correspondem à própria concepção da unidade-piloto:

* O grau e o nível tecnológico de automação do mesmo poderá levá-lo a operar durante alguns horários sem supervisão. Isto é

possível pelo uso de monitores, coletores de dados, sistemas analíticos de linha. A própria precisão dos aparelhos de medição e detecção dos parâmetros a serem medidos é de grande importância no estudo de parâmetros de alta sensibilidade.

* O risco do piloto não ser facilmente extrapolável sempre existe, seja na escala escolhida e/ou pela a natureza intrínseca do processo. Muitas vezes o problema é de construção. É relevante o relacionamento com os construtores de equipamentos, a utilização de suas instalações para pilotagem em concordância com critérios semi-empíricos de extrapolação. Também é importante a existência de material re-utilizável em diferentes pilotos, em almoxarifados de instalações-pilotos.

* A decisão de quando parar o estudo-piloto é de desmontar a instalação e uma das mais complicadas. Por isso, é difícil generalizar sobre a questão. Usualmente, faz parte da cultura da empresa considerada, de sua política de desenvolvimento, do retorno esperado no investimento em pesquisa, da preferência da empresa em otimizar na escala industrial, do grau de desenvolvimento adquirido na compreensão do processo, da sensibilidade do processo, etc.

Tal como observamos, existem uma série de problemas que não ficam claros simplesmente com o desenvolvimento na escala de laboratório de um processo. Estes problemas, descartada a possibilidade técnica da construção do processo final ainda na escala de bancada, podem ser englobadas no termo: extrapolabilidade do processo. O que preocupa, é que, sendo um processo viável em termos, ainda resta uma margem de incerteza para levá-lo à escala industrial. Estas preocupações são finalmente financeiras, mas numa categoria inferior de análise são relacionadas com a periculosidade do processo, à difícil adequação dos materiais disponíveis para a construção da futura unidade, à dificuldade de se manter as condições de reação numa escala superior, etc.. De fato, às vezes é possível *pular a escala piloto* com aquelas operações unitárias que permitem fatores de extrapolação, com certa margem de segurança. Nos casos onde é possível uma passagem

direta para a escala industrial, a otimização do processo dá-se na primeira unidade industrial a construir. A experiência adquirida permitirá projetar as futuras unidades sob bases mais seguras. Dificilmente os procedimentos obtidos nas pesquisas poderão ser diretamente transformados em fabricação de economias de escala. Para poder produzir nestas condições (economia de escala) deverá ser muito bem conhecida a extrapolabilidade do processo.

Uma forma de se diminuir os investimentos de P&D, é trocar a instalação de um piloto por um micro-piloto. Isto é útil, pois permite obter uma imagem *micro-piloto* do processo que permitiria projetar adequadamente a fase-piloto, ainda nos casos onde esta última torna-se necessária. As relações entre os técnicos de pesquisa, responsáveis pelo piloto, e os especialistas de outras disciplinas deve ser freqüente; como é o caso dos pesquisadores, os engenheiros de processo, a engenharia de projetos, o pessoal de vendas e os futuros possíveis homens da produção.

5. EXTRAPOLAÇÃO E INCERTEZA

Existem, por assim dizer, quatro tipos de incertezas relacionadas à pesquisa, desenvolvimento e extrapolação de processos produtivos:

1. A incerteza dos dados

Por um lado, está a incerteza relacionada com os parâmetros extrapolados da pequena escala para a grande escala, que chamaremos de incerteza dos dados. Esta incerteza está relacionada com as condições de contorno e com a complexidade da estrutura da teoria, as quais obrigam ao levantamento de dados empíricos. No caso da extrapolação, a imposição de condições econômicas de desempenho de uma operação unitária termina na natureza recalcitrante dos fenômenos físicos.

Para dominar *economicamente* uma operação são impostos parâmetros físicos e químicos, os quais seguem leis diferentes, de

acordo com a escala. Isto obrigaria a um levantamento de dados na escala final, o qual implica tecnicamente na incerteza da concepção da forma final do projeto. A tomada de decisão com incerteza significa normalmente que o indivíduo responsável pela tomada de decisão não dispõe de fato suficientes para efetuar uma determinada escolha. O registro de fósseis é um exemplo bastante claro. Oferece uma visão limitada ao passado. Com grandes dificuldades são obtidas informações do tipo *caixa de Pandora*. Apesar das zonas obscuras deste campo, são montadas partes do quebra cabeças da evolução para prestar apoio ao julgamento dedutivo. Trechos da teoria da evolução do ser humano são continuamente reescritos e corrigidos freqüentemente.

Nestes casos, não há outra escolha a não ser suspender a tomada de decisão indefinidamente devido à incertezas dos dados. Sempre há uma nova conjectura sobre o assunto.

Porém, falando de incertezas de dados, as decisões a nível da pesquisa industrial são tomadas dentro de um certo pragmatismo tecnológico. O exemplo que pode ser dado está na necessidade de levantamento de dados empíricos para se obter uma extrapolação de processo confiável. Porém, devido a imperativos financeiros são tomadas decisões de investimento na escala industrial, sem o devido conhecimento do comportamento de um processo nessa escala. De fato, a decisão não é suspensa por motivos da ausência de dados, porém junto com a extrapolação da escala é extrapolado o risco de não-funcionamento adequado da planta, o potencial de acidentes catastróficos, etc. A forma de *mitigar* esta incerteza é com um estudo de impacto ambiental ou estudos de riscos, porém estes não colaboram em coisa alguma sobre a redução da incerteza dos dados no processo de inovação.

2. A indeterminação de parâmetros

O segundo tipo de incerteza está relacionado aos problemas de indeterminação ou da tentativa de responder a questões múltiplas, as quais não tem uma resposta única na sua solução. Este tipo de problema pode ser encontrado na extrapolação de operações agitadas e em

fenômenos mais complexos que os que requerem a similitude química para a extrapolação como é o caso dos bio-processos. Neste caso, quanto mais se estuda um micro-organismo em condições de escala-piloto, menos se sabe sobre seu comportamento numa escala ampliada.

No caso de fluidos não-Newtonianos, quanto mais se ajusta o processo para privilegiar um dos três números adimensionais (exemplo: o número de Weber), (muito) mais incerteza é introduzida no domínio dos outros dois (no caso, os números de Reynolds e de Froude). O primeiro exemplo da física mas com relação a tempo e espaço, foi o princípio de incerteza de Heisenberg. Este exemplo óbvio vem da mecânica quântica quando nos diz *não é possível, mesmo na teoria, saber o suficiente sobre o presente para fazer uma predição completa sobre o futuro*. O famoso princípio da incerteza de Heisenberg diz que na estrutura sub-atômica não podemos conhecer com precisão a posição e o momento de uma partícula quanto mais sabemos sobre um, menos sabemos sobre o outro. O comportamento futuro não pode ser previsto, apenas aproximado por colocações probabilísticas.

3. A dificuldade de conhecimento de eventos não-reprodutíveis ou não-reincidentes

A terceira indeterminação surge da tentativa de se entender eventos não-reprodutíveis ou que não virão a acontecer novamente. No caso da SAC, como um exemplo de sistema complexo, observou-se que houveram ensaios nos quais o comportamento das propriedades de superfície e da micro-porosidade não foram reprodutíveis. Apesar de fixarem-se as mesmas condições macroscópicas *de engenharia*, o comportamento observado foi estocástico. A tentativa de entender eventos que não são reprodutíveis o que não acontecerão facilmente de novo, pode ser chamada de incerteza histórica. A pesquisa destes fenômenos e alguns outros mistérios padece da falta de fatos, mas também de barreiras às informações para se entender eventos que acontecem apenas uma vez ou raramente. Existe também o problema da observação; consegue-se uma rápida visão do fenômeno e nenhuma chance adicional para a experimentação nessas condições, que incluem

interações entre parâmetros, cujo resultado é uma condição nova, desconhecida e que acontece de forma tal que sua resultante é probabilística. Existe, por outro lado, o problema da interpretação para um dado fenômeno, onde parar a análise, o que excluir e o que um fenômeno significa. As cadeias de causas transformam-se em cadeias de opinião, as tentativas de, se entender estes fenômenos *estocásticos*, ilustram que, nos casos da incerteza estar localizada no caminho da decisão da experiência a seguir, a sobrecarga de informação é funcionalmente indiferente à falta de informação.

No caso da pesquisa histórica, muitas pedras e ruínas da pesquisa histórica que merecem rejeição sumária, imitam achados de valor e até aparecem sob a forma de algo útil. Na história, a singularidade dos eventos passados e seu desafio à descrição simples nos encoraja a aceitar um alto grau de variabilidade em termos do que realmente aconteceu. Prever eventos não-reincidentes nos leva de volta ao domínio do indeterminado.

4. Escolha trans-científica

Podemos chamar de trans-científicas as questões políticas que são provenientes da ciência e da tecnologia, mas não são respondidas por estas. Há questões que não tem resposta porque exigem previsões físicas que não podem ser feitas (exemplo: taxa de acúmulo de anidrido carbônico na atmosfera) e opções sociais e políticas que não podem ser defendidas. Qualquer escolha obriga ao indivíduo responsável a prever o imprevisível, comparar o incommensurável, identificar preferências culturais ou políticas indefiníveis, responder ao eleitorado sempre variável, escolher entre valores, invadir espaços inter-disciplinares. A incerteza aqui raramente é superada pela opinião comum ou por especialistas qualificados. As decisões para se travar a guerra; mobilizar-se contra a utilização de freon, ou o efeito-estufa, são exemplos característicos deste tipo. No caso da extrapolação, pode-se considerar os efeitos da incerteza da escolha no lançamento de um medicamento no mercado, o qual não foi devidamente testado e aprovado em termos de efeitos colaterais no homem. A extrapolação de dados

toxicológicos, de efeitos colaterais ou de efeitos sinérgicos de fármacos, de animais para o homem, situam-se dentro de categorias de incerteza dos dados. Porém, a decisão de se colocar no mercado produtos farmacêuticos, situa-se dentro da categoria da escolha trans-científica. Sempre que um novo produto farmacêutico é lançado no mercado, é efetuada implicitamente a extrapolação dos dados toxicológicos. Por um lado, são extrapolados os resultados dos testes efetuados com espécies animais para o homem, já que é anti-ético, ao menos publicamente, o estudo em seres humanos, e portanto proibido. Por outro lado, quando é efetuado o teste de uma determinada droga, são utilizadas um número ínfimo de espécies e se testada sobre o ser humano, a amostragem é muito pequena e nem sempre representativa da extrapolação aos possíveis futuros usuários da droga. A escolha neste caso, ao se lançar uma droga no mercado, cai em categorias que a própria ciência não pode responder a curto prazo. Quem poderia saber que as próteses de silicone da Dow Corning viriam a causar câncer após dezenas de anos de uso?

Quando a incerteza oferece base suficiente para não se decidir, a escolha é freqüentemente compulsória. Uma razão é que a incerteza é uma componente inevitável de qualquer decisão. Precisa-se conviver com a incerteza, e diferentes tipos de incerteza são solucionados de diferentes formas. Para a incerteza dos dados, uma das opções é suspender o julgamento até se coletar dados confiáveis.

Em termos de empresa e em Centros de P&D, há uma determinação (financeira) a se afastar das análises formais em favor de formas de decisão mais funcionais, enxutas e práticas. As empresas podem questionar se a escolha por uma política tentativa será reversível mais tarde, ou podem fazer análise heurísticas, tipo *rules of thumb*, sobre os riscos a decidir. Existem vezes onde é necessário tomar decisões importantes com rapidez, procurando-se a agenda curta, um punhado de opções é a metáfora constrangedora. O tipo de estratégia usualmente é oportunista, provisória, localizada e é uma pesquisa, não tanto pelos elos da cadeia, mais pelos obstáculos que podem ser superados. É uma estratégia para dividir e conquistar, que isola o gerenciável e

posterga o obscuro. É uma técnica afinada com objetivos de oportunidade, é uma procura por fatores arranjados. Não procura alternativas ideais ótimas, mas apenas aquela boa o suficiente em fase às múltiplas restrições e incertezas sempre presentes.

6. A GRANDE LIÇÃO POLÍTICA

*não há nada, por difícil, que
pareça, que possa resistir ao
trabalho politicamente organizado.*

No estudo de caso, observou-se que houveram sete rupturas fundamentais as, quais geraram dez decisões importantes do ponto de vista do projeto. As rupturas segundo nossa ótica foram:

1. Início do projeto com a verificação de que o gás carbônico permite precipitar sílica.
2. Foram obtidos produtos com bom desempenho na borracha, na escala de 60 litros.
3. Os resultados obtidos nos ensaios de extrapolação na escala industrial - 40 m3.
4. Os resultados dos ensaios de reprodutibilidade efetuados na França na escala de 3 m3.
5. O desenvolvimento da lavagem ácida.
6. Resultados obtidos na fase de otimização e intrapolação da precipitação.
7. O patenteamento e engavetamento do projeto.

Houveram fases importantes na pesquisa, as quais se constituíram no espaço onde aconteceram as rupturas e posteriormente foram tomadas as decisões:

1. Estudo de laboratório na escala de 2 litros.
2. Escala de 20 litros - percepção de problema de escala.

3. Escala de 60 litros - desenvolvimento do piloto e da metodologia de estudos-piloto para a SAC.
4. Primeira série de operações industriais. Não foi possível testar o desempenho do modo operatório da escala de 60 litros, devido a limitações dos equipamentos utilizados. Assim o Modo Operatório foi ajustado às condições da unidade, sendo diferente daquele prescrito para o estudo.
5. Segunda série de operações industriais. Houve o mesmo problema que na primeira série.
6. O Modo Operatório Simplificado RAQ 19 obtido, foi um modo de operar que obedecia às negociações com a engenharia de projetos da Rhodia.
7. A extrapolação do Modo Operatório RAQ 19 da escala de 60 litros para a de 3 m³ demonstrou a dificuldade em extrapolar dados de escala no caso da SAC. Novamente, o Modo Operatório utilizado na unidade foi ajustado, desta vez a partir de RAQ 19.
8. A estudo da intrapolação do Modo de Operação da escala industrial, chamada OP26, para a escala de 60 litros, foi o que deixou claro as dificuldades de se reproduzir sistemas correspondentes onde não é clara a relação de similaridade e a aplicabilidade da teoria da extrapolação de sistemas agitados.
9. Estudos complementares das outras operações unitárias: precipitação utilizando gás de *reforming*, centrifugação e lavagem do gel de sílica, filtração sob vácuo, filtração sob pressão, curva de neutralização, secagem, além do desenvolvimento de técnicas preparativas de amostras específicas para cada operação.
10. O estudo de otimização demonstrou que mesmo mudando os parâmetros dentro de condições extrapoladas, houveram caixas pretas que não puderam ser explicadas pela ciência do processo já estabelecida, nem pela teoria da extrapolação de sistemas agitados. Isto impossibilita saber qual é o comportamento do sistema otimizado na

escala de 60 litros, quando se passa para a escala industrial.

11. Patenteamento do processo.
12. Negociação final e destino de projeto. Relatório final do processo SAC.

As decisões mais importantes tomadas, foram:

1. Iniciar a pesquisa sem apoio institucional.
2. Obter um produto aceitável, que convencesse.
3. Demonstrar resultados da precipitação na escala industrial.
4. Estudar as operações posteriores à precipitação.
5. Testar o processo completo na escala industrial.
6. Ajustar o modo de operar da precipitação a requisitos de projeto a simplificar o mesmo.
7. Verificar se o processo é viável no tocante à segunda filtração quando efetuada sob pressão.
8. Salvar o processo mediante uma idéia redutora de custos fixos e operacionais: a lavagem ácida.
9. Otimizar a precipitação e verificar as condições de extrapolabilidade experimental.
10. Engavetar o projeto.

O projeto de P&D do processo sílica anidrido carbônico, poderia ter sido implantado para produzir sílica na escala industrial com modos de operar ajustados nessa escala. Mas, o problema aqui reside em que a empresa não é uma simples empresa a procura de oportunidades de mercado. Trata-se da Rhodia, a maior indústria química brasileira e de sua matriz, a Rhône Poulenc, a qual controla neste caso, parte do mercado europeu de sílicas (e de catalisadores).

A decisão a nível do processo poderia ter sido o investimento de maiores somas para o domínio total do processo. Assim, poderiam ser conhecidas as condições otimizadas, extrapoláveis para a obtenção de uma linha de produtos SAC que obedecem aos requisitos de mercado. O

desempenho do produto SAC era excelente, segundo os testes, mas o processo ainda não era confiável. Decidiu-se então pelo patenteamento do processo segundo o conhecimento adquirido até esse momento, e continuar com algumas idéias de simplificação de outras etapas.

A nível do produto, significava investir também em pesquisa de aplicação do produto. Devido ao polímero gerado pelo processo SAC ser mais ramificado, implicava na revisão do conhecimento adquirido com o processo SAS lá na França. A SAC significava um retorno aos complicados estudos aplicativos. Estes estudos são consumidores de tempo e de grandes verbas. Aparentemente, segundo opiniões dos entrevistados no estudo de caso, a Rhône Poulenc e seu centro de pesquisas em sílica, não tinham interesse em empreender novos estudos.

A Divisão Química Mineral da Rhodia, gastou na fase em que a pesquisa foi suportada por ela (sem incluir os custos dos ensaios industriais), a soma aproximada de 600.000 dólares. As pressões dos escalões superiores da empresa para parar a pesquisa eram grandes. A incompreensão do que era a pesquisa pelo próprio homem que representava a DQM nesse momento frente ao Centro de Pesquisas, um jovem engenheiro francês com pouca experiência levou a pressionar fortemente o chefe do Departamento de Sínteses. Essas pressões eram passadas sem filtragem alguma para a equipe SAC. Ainda resta saber se tal falta de *feeling* gerencial era proposital para desagregar a equipe ou se era falta de formação gerencial adequada dos quadros vindos da França.

As pressões eram tais, que chegou-se ao limite extremo de ter alta rotatividade na equipe de pesquisas!!, e a equipe suportar pressões de demissão de pessoal se não fossem obtidos resultados que a DQM esperava. Os objetivos técnicos recalcitrantes dão resultados que às vezes resistem à vontade humana. Mas isso é um detalhe, além de humanos estes dois jovens eram engenheiros com pouca experiência em P&D, e aparentemente não compreendiam o que até muitos sociólogos ainda resistem a entender: os fatos técnicos são o resultado das elaborações e de um contínuo e amplo processo de negociação entre atores tanto como de confronto com a resistência material dos sistemas físicos.

A política adotada no Centro de Pesquisas levou à auto-

demissão de vários assessores de pesquisa, entre eles o do projeto sílica via anidrido carbônico.

A nível dos técnicos que trabalharam no projeto, estes tiveram assegurada praticamente sua formação em pesquisas de processo com o projeto SAC. Ficou como trabalho prescrito a patente do processo, a qual contém (ingenuamente, se comparada com as dos concorrentes), condições de extrapolações de escalas como uma espécie de rara avis dentro do histórico de patentes existentes no tema sílica.

A nível do Centro de Pesquisas foi demonstrado que pode ser criada uma capacitação inovativa sempre que existir o suficiente apoio político para isso. Quando o apoio político cessa e as verbas com o tempo são cortadas, a pesquisa para, e o grupo se desagrega. Em 1983, foi considerada a possibilidade de se trocar o processo da Unidade de Paulínia. Esta unidade tinha nessa época uma capacidade instalada de 25.000 ton/ano. A nível estratatégico, o processo era de interesse da matriz. A patente foi publicada no Brasil em 1983, tendo como inventores os dois assessores de pesquisa envolvidas na mesma, o antigo Chefe de Departamento e o já aposentado Gerente do Centro de Pesquisas. Após a cessão total dos direitos de invenção à empresa Rhodia, a Rhône Poulenc depositou a patente na França, na Alemanha e nos EUA, claro que em nome de dois pesquisadores franceses do grupo de pesquisas em sílica francês. A explicação está parcialmente no fato de que a Rhône Poulenc é um dos monopólios europeus na fabricação de catalisadores e suportes para catalisadores. O domínio destas tecnologias é fundamental na indústria química e, de fato, a empresa somente confiaria isto ao pessoal *realmente* da casa.

Como grande lição, ficou o fato de que é possível formar, administrar pessoal e atingir objetivos em pesquisa tecnológica. Agora, claro, no Centro de Pesquisas da Rhodia trabalhou-se entre 10 e 14 horas por dia (cada elemento da equipe) grande parte da pesquisa, e às vezes existiam dois turnos para acompanhar ensaios de longa duração. Os sucessos deveram-se à motivação do pessoal em fazer e aprender, o que garantiu muita dedicação e a prova de que *não há nada por difícil que pareça, que resista ao trabalho politicamente organizado*. As decisões pelas quais a pesquisa parou num ponto onde começava a atingir

maturidade científica, foram de cunho estratégico, mas, ficou uma pequena comunidade praticante que levou consigo a experiência de como se faz P&D na filial de uma empresa multinacional que em algum momento acreditou no desenvolvimento.

Notas do capítulo IV

BIBLIOGRAFIA

- * **Aiba.S., Humphrey.A.E., Millis.N.F.**
Biochemical Engineering. Second Edition. Academic Press ,1973.

- * **Aldrich.H.E.,**
Organizations and environment, Prentice Hall, 1979.
- * **Anderson. G.,** Information philosophie, Dezember/November 1976, p 21.
- * **Aronsson. G.,**
Plant Equipment: scaling down for downstream scale-up
Bio/technology, vol.5, p.394-395, April 1987
- * **Baekeland.L.H.,** J.Ind.Eng.Chem.,vol.8, p.184, 1916
- * **Barnes.B.,**
T.S.Kuhn and the Social Science,
MacMillan, London, 1982
- * **Beveridge.G.S.G., Schechter.R.S.,**
Optimization, theory and practice,
Mc Graw-Hill Kogarusha, 1970
- * **Bijker.W.E., Hughes.T.P., Pinch.T.,**
The Social Construction of Technological Systems,
MIT Press, London, 1984
- * **Bohme.G. et alii,**
Finalization in Science,
Social Science Information, 15, 1976, pp 307-330

- * **Bohme.G.**, Finalization in Science, the social orientation of scientific progress, 1983, Reidel Publishing Company - Serie Boston Studies in the Philosophie of Science

- * **Bowen.J.H.**,

Individual risk vs. public risk criteria,
Chem. Eng. Progress, February, 1976, pp 63-67

- * **Buarque de Holanda.A.**,
Novo dicionario Aurelio, ed. Nova Fronteira, Sao Paulo, 1984

- * **Bucholz.K.**
Verfahrenstechnik (Chemical Engineering), Its Development, Present State and Structure,
Social Studies of Science, Vol 9, 1979, pp 33-62

- * **Bull.A.T., Molt.G., Lilly.M.D.**,
Biotechnology, International Trends and Perspectives
OECD. 1982

- * Chemical Industry Safety and Health Council of the
Chemical Industries Association Limited
A Guide to Hazard and Operability Studies
First edition, London, Eng., 1977.

- * Chemical Industry Association, London, 1987,

- * **Clark.N.**,
Similarities and differences between scientific and technological paradigms,
Futures, February, 1987, pp 147-162

- * **Constant E** , The Social Locus of Technological Practice: Community, System or Organization? em Bijker et alii, em Social Construction of Technological Systems, p. 223-242 MIT Press, London, 1984

- * **Collins.H.M.**,
Social Studies of Science, vol 11, 1981, pp 53-73

- * **Callon.M., Latour.B.**,
Les Paradoxes de la Modernite
Prospective et Santé
Numero 36, Hiver 1986, pp 13-25

- * **Callon.M.**,
Pour une sociologie des controverses technologiques
Fundamenta Scientiae, vol 2, numeros 3/4, 1981
pp 381-389

- * **Callon.M.**,
Society in the making: the study of technology as a
tool for sociological analysis, in Bijker et alii,
pp 83-103, 1987.

- * **Callon M, Law J, Rip A**, Mapping the dynamics of science
and technology, 1986, Macmillian Press Ltd.

- * **Callon M**, La science et seus reseaux
Editions de la decouverte, conseil de l'europe, Unesco,
1989

- * **Converse.A.O.**,
Otimizacao, EDART, Sao Paulo, 1977

- * **Coriat.B., Boyer.R.,**
Inovacoes, ciclos, crises. O retorno de Schumpeter,
Novos Estudos numero 12, Cebrap, Sao Paulo, jun 1985,
pp 42-47
- * **Collins. H.M,** ~~Expert Systems and the Science of Knowledge~~
in Pinch TJ and Bijker WE, The SCOT ref 44.
- * **Daniellou.F., Lavine.A., Teiger.C.,**
Cahiers Francais, numero 209, 1983
- * **Darmkohler.G.,**
Z. Electrochem., 42, p 846, 1936
- * **Da Vinci.L.,** Cuaderni, 1500 Anno Domini
- * **Davies.O.L.,**The Desing and Analysis of Industrial
Experiments.,Oliver and Boyd, Ltd., Edinburgh and London, 1954
- * **Davis.G.E.,** A Handbook of Chemical Engineering
Davis Bros., Manchester, England, 1901
- * **Dore.J.C.,**
Plant/Operations Progress, vol 7, numero 4, 1988, pp 223-225
- * **Dosi.G.,**
Technological paradigm and technological trajectories,
Research Policy, 11, 1982, pp 147-162
- * **Douglas.M.,**
Risk acceptability according to social sciences,
Routledge and Kegan Paul, London, 1986

- * **Duclos.D.,**
La construction sociale du risque, CNRS, decembre, 1986
 - * **Erdmann.H.H., Kussi.J.J., Simmrock.K.H.,**
Possibilities and problems of process design, Ger. Chem. Eng. 8,
1985, pp 65-74
-
- * **Freeman C,** La teoria Economica de la Innovacion
Industrial, Alianza Editorial, Madrid, 1975
 - * **Fujimura.J.H.,**
Constructing "do-able" problems in cancer research, Social Studies
of Science, Vol 17, 1987, 257-293
 - * **Gibson.S.B.,**
Risk criteria in Hazard Analysis, Chem. Eng. Progress, January,
1976, pp 59-61
 - * **Guédon.J.C.,**
Il progetto dell'ingegneria chimica: l'affermazione
delle operazioni di base negli stati uniti. Testi Ex
Contesti n.5, 1981 p.5.
 - * **Guédon.J.C., Lannoy.6.,**
Spectre, 9, dezembro 1979, p.12-17
 - * **Guédon.J.C.,**
Conceptual and Institutional Obstacles to the Emergence
of Unit Operations in Europe, in
Furter.W.F., History of Chemical Engineering,
Advances in Chemistry Series, 190
American Chemical Society, 1980
 - * **Heisenberg W,** 1971, Schritte uber Grenzen Piper, Munich
p 87-94

- * **Hessen B M**, The social and Economic Roots of Newton's Principia, en Bukharin et al. Science at the Cross Roads, Kniga, 1931, London) p 151-171 ,
- * **Hixson.A.W., Wilkins.G.A.,**
Ind. Eng. Chem., 29, 1937, p 1196

- * **Iler.R.,** Silica, Wiley Interscience, 1978
- * **Ishikawa, K.,** Guideto Gravity Control, Asian Productivity Association, 1984 - 4ª edição.
- * **Johnstone.R.E.,**
Trans. Inst. Chem. Engrs., 17, 1939, p 129
- * **Johnstone.R.E. e Thring M.W.,** Pilot Plants Models and Scale-up Methods in Chemical Engineering, Mc Graw Hill, 1957
- * **Kletz.T.A.,** Chemical Engineering, April 1, 1985, p.48
- * **Knorr-Cetina.K.,**
The Manufacture of Knowledge: An Assay on the Contructivist and Contextual Nature of Science, Pergamon Press, Oxford, 1981
- * **Kuhn.T.S.,**
A estrutura das revoluções científicas,
2a edição, editora Perspectiva, Brasil, 1978
- * **Lagadec.P.,**
La civilization du risque,
Editions du Seuil, mars 1981

- * **Lagadec.P.,**
Etats d'urgence,
Editions du Seuil, mars 1988

 - * **Lakatos.I., Musgrave.A.,**
A crítica e o desenvolvimento do conhecimento
Editora Cultrix, Sao Paulo, 1979
-
- * **Langhaar.H.L.,**
Dimensional Analysis and the theory of models
John Wiley and Sons, New York, 1951

 - * **Latour. B.,** Science in Action. Open University Press
Milton Keynes, 1987

 - * **Latour.B., Woolgar.S.,**
La vie de Laboratoire
Editions La Decouverte, Paris, 1988

 - * **Lawley.H.G.,** Chemical Engineering Progress Vol.70,
numero 4, p.45, April 1974

 - * **Lecoals.M.,**
Techniques de developpement des procedes dans l'industrie chimie
Centre de perfectionnement des industries chimiques, Nancy, France

 - * **Lelan.A.,** Informations Chimie n. 171, Nov 1977, p. 329

 - * **Lellouch.J., Lazar.P.,**
Methodes statistiques in experimentation biologique
Flammarion, Paris, 1974

 - * **Little.A.D.,**
Chemical Engineering Research, in twenty years of
Chemical Engineering Progress, New York, 1922.

- * **Lowenstein.J.G.,**
The pilot plant,
Chem. Eng., 92, 1985, pp 62-76
- * **Mandel.E.,**
Explaining long waves of capitalist development,
Futures, August, 1981, pp 332-338

- * **Marx.K.,**
Livro I, capitulo VI, inédito,
Ed. Signos, Buenos Aires, 1971
- * **Marx.K.,**
O Capital, critica da economia política; tradução da 4ª edição,
editora Civilização Brasileira, 1968.
- * **Miles. W. D.,** American Chemists and Chemical Engineers,
Washington DC, 1976, p 300
- * **Napolioni. C.,** Lezioni sul capitolo sesto inedito di
Marx, Editore Boringhieri, Torino, Italia, 1972
- * **Nelson.R., Winter.S.,**
An evolutionary theory of economic change,
Fontana, London, 1985
- * **Newton.I.,**
Principia, Livro II, proposicao XXXII,
Cambridge University Press, New York, 1934
- * **Noble, D.F.,** America by Design, Science, Technology and the
rise of Corporate Capitalism, Alfred Knopf,
New York, 1982.

- * **Patente, BP 1580672 C01b 33/154**
- * **Patente, BP 2043041 C01b 33/158**
- * **Patente, BP 1525380 C01b 33/16**
- * **Patente, BP 1352830 C01b 33/16**

- * **Patente, BP 1113504 C01b 33/16**
- * **Patente, BP 1171651 C01b 33/16**
- * **Patente, BP 1242407 C01b 33/16**
- * **Patente, BP 1067818 C01b 33/16**
- * **Patente, BP 883476 C01b**
- * **Patente, BF 1142946 C01d**
- * **Patente, BF 1420228 C01b**
- * **Patente, BF 7931215 C01b 33/12**
- * **Patente, BF 1105821 C01b**
- * **Patente, BF 1064230**
- * **Patente, BF 1352354 C01b**
- * **Patente, BS 467215 C01b 33/16**
- * **Patente, RFA 8000517 C01b 33/16**
- * **Patente, RFA 1767934 C01b 33/16**

- * **Patente, SP 365325 C01b 33/12**
 - * **Patente, USP 3250594 23/182**
 - * **Patente, USP 3503707 C01b 33/00, 33/14, 33/18**
-

- * **Patente, USP 3307900 23/182**
- * **Patente, USP 3719741 C01b 33/00**
- * **Patente, USP 2601235 23/182**
- * **Patente, USP 4148864 C01b 33/12**
- * **Patente, USP 3709980 C01b**
- * **Patente, USP 3281210 23/182**
- * **Patente, USP 3172726 23/182**
- * **Patente, USP 3172727 23/182**
- * **Patente, USP 3235331 23/182**
- * **Patente, USP 3928540 C01b 33/18**
- * **Patente, USP 3085861 23/182**
- * **Patente, USP 3250594 23/182**
- * **Patente, USP 3337299 23/182**
- * **Patente, USP 3325249 23/182**

- * **Patente**, USP 2834670 C09c 1/30
 - * **Deposito de Patente Brasileira** numero 8307103 do 7 19/12/83
 - * **Penrose. E. T.**, The economics or the international Patent System, 1951, John Hopkins Press.
-
- * **Perry. J., Gehring. D.M.V., Rao. K.S.** Toxicology Data Extrapolation, Patt's Industrial Higiene and Toxicology, Vol 3, Jonhn Wiley and Sons, Chap 16, p. 567. 1977.
 - * **Perry & Chilton**, Chemical Engineering Handbook, 50th edition, 19 , 4-21
 - * **Peter. M.S., Timmerhaus. K.D.**, Plant Design and Economics for Chemical Engineers. 3rd edition. Mc Graw Hill, 1968
 - * **Pfeffer.H.A. et alii**, Plant/Operations Progress, vol 3, numero 2, 1984, pp 98-101
 - * **Pochin. E. E.**, British Medical Bulletin, 1975, p 184-190
 - * **Purchas. D.B., Wakeman. R.J.**, Separation Equipment Scale-up, Butherwords, London,1986
 - * **Rayleigh.L.**, Proc.Roy.Soc., numero 66, 1899-90, p 68
 - * **Rayleigh.L.**, Nature, numero 95, 1915, p 66

- * **Riabouchinsky.D.,**
Nature, numero 95, 1915, p 591
- * **Rosenberg.N.,**
Inside the Black Box, Technology and Economics,
Cambridge University, 1985.

- * **Rushton.J.H.,**
Chem. Eng. Progr., 37, 1945, p 422
- * **Russell.S.,**
The Social Construction of Facts and Artefacts: A response to
Pinch and Bijker, Social Studies of Science, vol 14, 1984, 331-346
- * **Schuch.G.T.,**
To full scale production direct from the laboratory,
the Badger Co., Cambridge, Mass. Presented at
simposium on scale-up, Manchester, March 21, 1969,
Institution of Chemical Engineers
- * **Suckling.C.W.,**
The function of pilot planting in a large chemical
complex, ICI Mond Division, at simposium on scale-up,
Manchester, March 21, 1969, Institution of Chemical
Engineers
- * **Thring.M.W.,** Research, 1, 1948, p 492
- * **Thring.M.W.,**
Trans. Inst. Chem. Engrs., 26, 1948, p 91
- * **Tolman.R.C.,** Phys. Rev., numero 3, 1914, p 244
- * **Van Brunt.J.,** Biotechnology Vol.3, p.419, may 1985.

- * Vaitsos. C. V., La funcion de las patentes en los paises en desarrollo, El Trimestre Economico, 1973, n 157, pp 238-267.
- * Vergragt.P.J.,
The Social Shaping of Industrial Innovations
Social Studies of Science, vol 18, 1988, pp 483-513

- * Vessuri.H.,
Que investigar en America Latina?
Acta Cientifica Venezolana 35, 1984, pp 1-5
- * Worker's Control in America, New York, 1979
- * Zapp.J., Patty's Industrial Hygiene and Toxicology,
Wiley Intersciencia, 1977.

BIBLIOGRAFIA SOBRE O ESTUDO DE CASO

- * Caderno Jornal- HID- Sílica anidrido carbônico
- * Crozat.M.,
Centre de recherches de Paulinia, quelques reflexions
sur le facteur humain, Rhodia S/A, 9 janvier 1981
- * Entrevista a um chefe de projeto (CEM)
Entrevistas com atores envolvidos no projeto SAC
Rhodia S/A, marzo 1991 a janeiro de 1991
- * Guia de Redação de Relatorios do Departamento de Sínteses
- * Haire. G., apresentação no Centro de Pesquisas da Rhodia.
Rhone Poulenc, 1983

- * Informes diários pesquisa sílica via anidrido carbônico
 - * Marengo.C.E., Relatório de ensaios na escala de 20 litros, 1980
 - * Marengo.C.E., Relatório de ensaios na escala de 60 litros, 1981, ref. 01.
-
- * Marengo. C.E., Relatório da Primeira Serie de Operacoes Industriais na escala de 40 m³, 1981, ref 02.
 - * Marengo. C.E., Relatório de segunda serie de operacoes industriais, 1981, ref. 03.
 - * Marengo. C.E., Rapport des essays a pilot des Collonges - 3m³, 1981, ref. 04
 - * Soltermann. O.E., anotações sobre Regras heurísticas obtidas de um colega ingles. Correspondencia pessoal e nao oficial a empresa, 1989
 - * Revista Rhodia,
L'entreprise du mois, 65 ans de travail constructif et de confiance au Bresil, pp 11-17, 198
 - * Relatório de Prospectiva Tecnológica TECPAR, Parana, 1985
 - * Relatórios de reuniões externas, 1980-1984, Centro de Pesquisas, Rhodia S/A
 - * Reunião de fechamento dos ensaios na escala industrial
 - * Rochette.D., Soltermann.O.E.,
Relatório final do projeto Silica via Anidrido Carbonico, 1984.

* **Soltermann.O.E.**, anotacoes pessoais da pesquisa SAC,
Centro de Pesquisas da Rhodia, Rhodia S/A, 1980 a 1984

* **Soltermann.O.E.**,
Apresentacao sobre o processo SAC patenteado, Centro de
Pesquisas da Rhodia, marco de 1983, ref. 01.

* **Soltermann.O.E.**,
Fluxogramas de processo das diferentes alternativas de
um processo SAC, Centro de Pesquisas, Rhodia S/A, 1983, ref. 02.

* **Soltermann.O.E.**,
Modo Operatorio de precipitacao de SAC, RAQ 19,
Centro de Pesquisas, Rhodia S/A, 1981, ref. 01.

* **Soltermann.O.E.**,Relatorios Mensais Novembro de 1982 a
Marco de 1983, ref. 03.

* **Soltermann.O.E.**,
Determinacao de superficie S.BET em silica, 1981, ref. 02.

* **Soltermann.O.E.**, plano de otimizacao do processo SAC, 1981, ref. 03.

* **Soltermann.O.E.**,
Determinacao da velocidade relativa de filtração em gel
de silica, 1981, ref. 04.

* **Soltermann. O. E.**, Manual de Projetos, anotações pessoais
efetuadas em quatro anos de trabalho da Imperial
Chemical Industries do Brasil, agosto de 1989