

**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**

***UMA PROPOSTA DE MODELAGEM FRACTAL***  
**DE DESIGN DE PRODUTO**

**DAVID OMAR NUÑEZ DIBAN**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Como requisito parcial para obtenção  
do título de Mestre em  
Engenharia de Produção

**Florianópolis, 30 de Junho de 2000**

**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro de Tecnologia**  
**Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas**

## **Uma proposta de Modelagem Fractal de Design de Produto**

**David Omar Nuñez Diban**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção.

Ricardo Miranda Barcia, PhD.  
Coordenador do Programa de Pós-graduação  
UFSC/EPS

Banca Examinadora:

Profa. Leila Amaral Gontijo, Dr.  
Professor Orientador

Prof. Francisco Antonio Pereira Fialho, Dr.

Prof. Alexandre Lago, PhD.

Profa. Virgínia Souza de Carvalho Borges Kistmann, Msc.

A minha fragmentada família  
que quando do meu caos,  
sempre esteve ao meu lado.

*Agradecimentos*

Ao PPGEP da Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de aprimorar minha formação acadêmica.

À Profa. Leila A. Gontijo, por brindar-me com a oportunidade de trabalhar sob sua orientação, de forma aberta e descontraída, permitindo meu desenvolvimento científico.

Ao CNPq por seu apoio financeiro.

À David, Susana, Lizette e Lucía, minha querida família, que sempre esteve me apoiando e me acompanhando em todo instante, de forma incondicional, apesar da distância.

Aos meus primos José Carlos, Neiva, Rafael, e ultimamente Lara, por seu apoio e por terem se constituído em minha referência da família no Brasil.

À Tania, que apesar das discordâncias, soube me acompanhar em todo instante para bem ou mal e, através de suas acertadas colocações, me apoiar.

Aos demais membros de minha família, que, de longe, sempre acreditaram no meu progresso profissional e pessoal.

Aos meus amigos de sempre que de diversas formas mantiveram contato, fazendo com que eu me sentisse em casa.

Às amigas que fiz no PPGEP e que muitas delas, apesar de concluído o curso, se constituem na minha nova família no Brasil.

À todas aquelas pessoas que, direta ou indiretamente, participaram no desenvolvimento deste estágio de pesquisa na minha vida.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>X</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XI</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	2
1.2 JUSTIFICATIVA .....	3
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 Objetivo geral.....	5
1.3.2 Objetivo específico.....	6
1.3.3 Resultados esperados.....	7
1.4 HIPÓTESES.....	7
1.4.1 Primeira hipótese.....	7
1.4.2 Segunda hipótese.....	9
1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	10
1.6 LIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	12
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>A TEORIA DO CAOS.....</b>	<b>13</b>
2.1. E QUANDO SE PENSAVA QUE TUDO ERA UM “CAOS” .....	14
<b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>A GEOMETRIA FRACTAL.....</b>	<b>23</b>
3.1. PRIMEIRAS ABORDAGENS FRACTAIS.....	23
3.1.1. O Conjunto de Cantor.....	26
3.1.2. A Gaxeta e o Tapete de Sierpinski .....	26
3.1.3. A Curva de Koch.....	28
3.1.4. O Conjunto de Julia .....	30
3.2. SERÁ QUE PODE EXISTIR UMA NOVA GEOMETRIA?.....	32
3.3. O NOVO MUNDO FRACTAL .....	33
3.3.1. Os fundamentos da escala e a auto-similaridade.....	35
3.3.2. Conjunto de Mandelbrot.....	40
3.3.3. O que é uma dimensão?.....	43
3.3.4. Os fractais .....	46
3.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A GEOMETRIA FRACTAL .....	52

**CAPÍTULO 4**

<b>O UNIVERSO DOS MÉTODOS DE DESIGN .....</b>	<b>56</b>
4.1. O DESIGN INDUSTRIAL .....	58
4.2. PROJETO CONCEITUAL .....	59
4.3. OS MÉTODOS E AS TÉCNICAS DO DESIGN .....	63
4.3.1. Os métodos de Primeira e Segunda Geração .....	64
4.3.1.1. Métodos de Primeira Geração .....	64
4.3.1.2. Métodos de Segunda Geração .....	68
4.3.2. Os Processos de Divergência, Transformação e Convergência .....	72
4.3.2.1. Divergência.....	73
4.3.2.2. Transformação .....	76
4.3.2.3. Convergência .....	80
4.3.3. O Processo Criativo.....	86
4.4. O POR QUÊ DOS MÉTODOS.....	93
4.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MÉTODOS DE DESIGN .....	94

**CAPÍTULO 5**

<b>UMA PROPOSTA FRACTAL NO DESIGN .....</b>	<b>96</b>
5.1. OS MÉTODOS DE DESIGN DE PRODUTO ATRAVÉS DO COMPORTAMENTO FRACTAL/CAÓTICO .....	97
5.1.1. O Design como um sistema dinâmico e sua proximidade com o Caos.....	98
5.1.2. Fractal e Design: presentes nas estruturas dos Métodos de Design de Produto .....	100
5.2. UMA PROPOSTA FRACTAL NO DESIGN.....	104
5.2.1. Aspectos Preliminares à Modelagem .....	105
5.3. DELIMITAÇÕES PRELIMINARES NA MODELAGEM .....	107
5.4. UMA MODELAGEM FRACTAL NO DESIGN, O MFD .....	108
5.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE A PROPOSTA FRACTAL NO DESIGN.....	116

**CAPÍTULO 6**

<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>117</b>
6.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM DO MFD.....	117
6.2. OS VALORES INTROSPECTIVOS NA MODELAGEM.....	119
6.3. O USO DE FRACTAL E CAOS NA MODELAGEM .....	120
6.4. LIMITAÇÕES DA MODELAGEM MFD .....	120
6.5. PESQUISAS FUTURAS .....	121

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>122</b>
--	------------

<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>124</b>
---------------------------	------------

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Esquema da pesquisa. ....	10
<b>Figura 2.1</b> Algumas trajetórias do atrator de Lorenz (PIETGEN <i>et al.</i> , 1993). ....	16
<b>Figura 3.1</b> O Conjunto de Cantor (PIETGEN <i>et al.</i> , 1992). ....	26
<b>Figura 3.2</b> A construção básica da Gaxeta de Sierpinski (PIETGEN <i>et al.</i> , 1992). ....	27
<b>Figura 3.3</b> A construção básica do Tapete de Sierpinski (PIETGEN <i>et al.</i> , 1992). ....	27
<b>Figura 3.4</b> A construção da Curva de Koch em etapas. Em cada passo o número de segmentos é incrementado por um fator 4 (PIETGEN <i>et al.</i> , 1992). ....	28
<b>Figura 3.5</b> A construção do floco de neve de Koch composto de três curvas congruentes da <i>figura 3.4</i> (PIETGEN, JÜRGENS <i>et al.</i> , 1992). ....	29
<b>Figura 3.6</b> Alguns flocos naturais, o que mostra a similaridade do Floco de Neve de Koch com os flocos reais (PIETGEN <i>et al.</i> , 1992). ....	29
<b>Figura 3.7</b> Outra construção de Koch. A escolha de outro iniciador e gerador dão outro fractal com auto-similaridade (PIETGEN <i>et al.</i> , 1992). ....	30
<b>Figura 3.8</b> Primeira visualização do Conjunto de Julia por cremer em 1925, sem uso de computador (PIETGEN <i>et al.</i> , 1992). ....	30
<b>Figura 3.9</b> Conjunto de Julia, com uso de computador (DEVANEY, 1990). ....	31
<b>Figura 3.10</b> Exemplos do Conjunto de Julia (PIETGEN <i>et al.</i> , 1992). ....	31
<b>Figura 3.11</b> Dimensionando a Curva de Koch (PIETGEN <i>et al.</i> , 1993). ....	37
<b>Figura 3.12</b> Círculo, quadrado e Floco de Neve de Koch, sendo deformados continuamente, mantêm sua equivalência topologica (PIETGEN <i>et al.</i> , 1993). ....	38
<b>Figura 3.12</b> O Conjunto de Mandelbrot (DEVANEY, 1990). ....	40
<b>Figura 3.14</b> Primeira ampliação 3D do Conjunto de Mandelbrot (PIETGEN <i>et al.</i> , 1992). ....	41
<b>Figura 3.15</b> Segunda, terceira e quarta ampliação 3D do Conjunto de Mandelbrot (PIETGEN <i>et al.</i> , 1992). ....	42
<b>Figura 3.16</b> Quinta e sexta ampliações 3D do Conjunto de Mandelbrot, sendo a última ampliação de aproximadamente 0.000015 (PIETGEN <i>et al.</i> , 1993). ....	43

<b>Figura 3.19</b> Auto-similaridade através das escalas encontradas na <i>Natureza</i> . (Fotos: David Omar Nuñez Diban, 1998) .....	49
<b>Figura 3.20</b> O padrão de crescimento de uma Ammonite segue um padrão de logaritmo espiral (PIETGEN <i>et al.</i> , 1992).....	51
<b>Figura 4.1</b> Funil de decisões (pp. 9, BAXTER, 1998).....	60
<b>Figura 4.2</b> O crescimento do compromisso financeiro a par do avanço do desenvolvimento do produto (pp. 12, BAXTER, 1998) .....	63
<b>Figura 4.3</b> Método com <i>Feedback</i> de Bernhard e Bürdek (BONSIEPE <i>et al.</i> , 1984).....	71
<b>Figura 4.4</b> Processo global do projeto apresentado por Borzark ( <i>apud</i> , BONSIEPE <i>et al.</i> , 1984). .....	71
<b>Figura 4.5</b> Método de cálculo e construção de um novo produto (BONSIEPE <i>et al.</i> ,1984).....	72
<b>Figura 4.6</b> Visualização do espaço do problema ( <i>adaptado de</i> BAXTER, 1998). .....	87
<b>Figura 4.7</b> Processo de seleção de conceitos (ULRICH & EPPINGER, 1995). .....	91
<b>Figura 4.8</b> Processo metódico na busca das soluções integradas ( <i>adapatado de</i> ULRICH & EPPINGER, 1995). .....	92
<b>Figura 5.1</b> Modelo experimental de aprendizagem de David Kolb, 1984 (ASHTON, 1998)	105
<b>Figura 5.2</b> Processo evolutivo de solução de um problema (DIBAN & GONTIJO, 2000). ....	111
<b>Figura 5.3</b> Modelo Fractal de Design - MFD.....	112
<b>Figura 5.4</b> Processo cíclico e evolutivo do MFD. ....	113
<b>Figura 5.5</b> Processo de interação do(s) iniciador(es) e gerador(es) na geração de alternativas. ....	114
<b>Figura 5.6</b> Desenvolvimento do MFD trabalhando com três alternativas de outputs simultaneamente.....	115
<b>Figura 5.7</b> Desenvolvimento do MFD tabalhando com recursividade de um mesmo output. ....	115

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 4.1.</b> Comparativo entre Processo Criativo Projeto Conceitual e Métodos de <i>Design</i> (adaptado de BAXTER, 1998).....	61
<b>Quadro 4.2.</b> Elementos-chave das Diversas Fases do Processo Criativo e Suas Respectivas Ferramentas (adaptado de BAXTER, 1998). ....	88
<b>Quadro 5.1.</b> Relação: Fractal/Caos com os MDP e o <i>Design</i> (DIBAN & GONTIJO, 2000). .	103

## RESUMO

Uma acertada interação humano-produto inicia-se com uma apropriada compreensão e geração de conceitos envolvidos no desenvolvimento de um novo produto, através da aplicação e aperfeiçoamento das ferramentas e métodos de *design* de produto. Assim, o uso de métodos modernos e a assistência de abordagens estruturadas, vão minimizar os problemas para atingir o objetivo do *design*, independente da tecnologia, considerando o fator de desempenho humano como crítico neste processo de desenvolvimento.

Considerando que o processo de elaboração de um novo produto traz consigo mudanças, estas devem ser corretamente avaliadas, pois as mínimas variações iniciais determinarão grandes mudanças posteriores. A partir desta consideração, a presente pesquisa faz uma reinterpretação dos fenômenos que acontecem dentro dos processos metódicos no desenvolvimento de um novo produto, sob a visão Fractal-Caótica.

Assim, esta pesquisa ao fornecer um novo significado estrutural da idéia central de um novo *design* de produto em desenvolvimento, propõe uma modelagem do processo de *design* de produto sob uma arquitetura fractal. O modelo gerado tem como finalidade fornecer uma estrutura contendo características que visam simplificar o processo de *design* sem restringir as ações e atitudes do *designer*. O fornecimento de informação é através de um *Input*, passando por um processo cíclico até obter os resultados em um *Output*. Neste processo, juntam-se outros elementos que auxiliarão na definição da problemática e na estruturação das opções para resolvê-la. Há de se considerar que estes elementos estão governados em três campos: das delimitações subjetivas, das delimitações objetivas e do fator humano.

*Palavras-chave:* design industrial, fractal, caos, produto, método.

## ABSTRACT

A good human-product interaction begins with a proper concepts comprehension and generation involving the new product development, through tools and design methods application and improvement. Therefore, the use of modern methods and the assistance of a structured approach, could decrease the design objective approaches problems, no matter what technology has being used and also considering the human behavior as a critical one over this development process.

Considering that, design development process of a new product concepts keeps itself on a continuous changes, these needs should be correctly evaluated, because the initial minimum variances would set towards big changes after all. From this point of view on, this research perform a reinterpretation of the phenomenon that occurs over a methodical process of a new product development, from the Fractal-Chaotic vision.

The present research while providing a new structural meaning from the main idea of a new design product development, supplies a product design process modeling beneath a fractal architecture. The goal of this model is to provide a structure within characteristics that would simplify the design process without setting no constrains over designer's behaviors. The information gets in the process through *Input*, then goes across a cyclic process with results coming up as an *Output*. This process joins others components that will help on setting the problematic definition and building an option to resolve it. Is important to consider that all these elements are managed three fields: subjective delimitation, objective delimitation and human factor.

*Key-words:* industrial design, fractal, chaos, product, method.

## CAPÍTULO I

---

### INTRODUÇÃO

Caminhando pela calçada, em um dia ensolarado no final de expediente, começo a sentir o concentrado barulho dos motores dos carros engarrafados atrás de um semáforo. Felizmente, a minha condição de pedestre me permite avançar sem o estresse ocasionado por estar sentado dentro de um desses automóveis. Pelo pensamento comum das pessoas passa uma palavra, que de forma rápida define o que estão vivendo: "*Caos*". Porém, esta simples palavra envolve um paradigma atual, que leva a um pensamento mais abrangente inserido nas ciências, que dentro de um simples léxico popular onde apresenta-se mais em forma de teoria que como um elemento prático.

O surgimento da "*Teoria do Caos*" tornou possível aos estudiosos das ciências, atingir novos horizontes nas diversas áreas do conhecimento universal. Com novas propostas do que poderia ser ou de como poderiam ser estas novas abordagens, a realidade e sua evolução se apresentam em uma nova perspectiva. Esta nova postura na pesquisa científica, tenta explicar acontecimentos que fogem aos padrões estabelecidos, e que até hoje são desconhecidos sob uma perspectiva tradicional, mediante uma praxe pouco "acadêmica". É mais fácil entender esta prática como a "não" aplicação dos tradicionais procedimentos de uso das leis *Newtonianas*. Esta falta de academicismo não vai de encontro a nenhuma regra, simplesmente procura desvendar mistérios que em posições pouco flexíveis e muitas vezes excessivamente fechadas, deixaram de lado opções de interação simples.

Poder-se-ia considerar que o fato de que a idéia da noção de *caos* leva a pensar que os acontecimentos não têm uma lógica, em outras palavras, que seja difícil determinar os pés e cabeça das coisas, é uma suposição que não é correta. De outro lado, se pensarmos que tudo está embaraçado, seria mais simples, pois existe sempre a possibilidade de desembaraçar. O princípio desta Teoria do Caos baseia-se, em uma primeira vista, na idéia de que a solução não existe, mas esse é um aspecto que leva a diversos caminhos, com múltiplas opções que não permitem enxergar um ponto fixo no horizonte. Seguindo o

raciocínio de “partir de um ponto fixo”, consideração feita com a finalidade de possuir “um começo”, as propostas e trabalhos que levaram aos conceitos desenvolvidos pela *Teoria do Caos* partem da noção dos *sistemas dinâmicos*. Estes sistemas são todos aqueles que têm movimento ao longo de um período de tempo tendo peculiaridades em função das diversas variáveis que envolvem seu acionar.

Imerso no movimento das novas opções dentro do âmbito da Teoria do Caos e depois de chegar a certos resultados em função de sistemas dinâmicos, Benoit Mandelbrot (*apud* GLEICK, 1987) define um novo conceito. Na sua busca por definir as variações de certas formas e fenômenos matemáticos, chegou à conclusão, de que as variações pequenas e grandes têm um nexos, uma familiaridade, e obedecem a uma constante: a *escala*, na qual em função de ampliações chega-se a perceber variações de tamanho porém, nem sempre de forma. Desta maneira, o autor conclui suas idéias com a necessidade de definir um conceito baseado nas frações, criando o termo *fractal*.

Frente a qualquer processo de solução de problemas, é de prática comum estabelecer um caminho a ser seguido. Dessa maneira é que nasceram os métodos, técnicas e estratégias, os quais forneceram estruturas que ajudam as pessoas no caminho do desenvolvimento de uma determinada função definida. Visando a necessidade de uma representação de modelo e com o conhecimento da opção dos fractais, a seguir se apresentará um trabalho que unifique dois conceitos abrangentes: *Design* e Fractais.

## 1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Na diversidade existente nos campos de conhecimento científico, a orientação dada à presente pesquisa concentra-se na área do *Design* por sua grande importância na intervenção direta como atividade mediadora entre produto e consumidor: a *relação humano-máquina*, na constante busca de satisfazer necessidades. A atividade do *Design* não está restrita unicamente à função de cobrir necessidades, já que também age como criadora da interface *Humano versus Meio Ambiente*. Nestas duas relações, nas quais a apropriada colocação das necessidades transcende, é a função de interface que se constitui como pilar que fundamenta a definição do *Design Industrial* (BONSIEPE, 1997).

Ciente da complexidade do processo de identificação da correta interpretação da comunicação existente entre produto e usuário, diversos métodos vão constituir ferramentas de trabalho que tentarão satisfazer esta comunicação. Sendo que no processo de *design* do produto, a aplicação dos métodos têm como alvo principal, o estágio no qual o *designer* vai gerar e construir as idéias inovadoras e alternativas de solução.

Como consequência, o uso de métodos denota a existência de estruturas preestabelecidas que orientam o *designer*, de diversas formas, fornecendo ajuda sistemática e ordenada, com o objetivo de evitar, dentro do possível, a perda de recursos, entre eles, o tempo. A atenção criada, neste processo, orienta-se na premissa “da estruturação dos conceitos de maneira progressiva e arranjo finito”, que nem sempre gera os resultados mais apropriados. Uma consideração importante para a atenção no manuseio conceitual no desenvolvimento de um produto é a compreensão de que a presença de produtos sem um resultado esperado para atender os requerimentos a um 100% é consequência de uma concepção errônea.

As abordagens inovadoras e as filosofias produtivas industriais não têm um mesmo consenso sobre a importância do *design*. Como exemplo, temos a atual filosofia japonesa, orientada a um maior investimento na fase de *design* do produto, dedicando-lhe, em alguns casos, uma porcentagem altamente considerável dos recursos investidos no produto em desenvolvimento. Esta filosofia considera que um maior investimento no *design*, terá como consequência uma definição mais acertada na hora de colocar o produto na linha de produção, gerando menor custo de correção. Caso o maior investimento de recursos seja dado no setor de produção, pode acontecer que receba um *design* de produto mal definido. Como consequência, podem ocorrer constantes alterações da linha produtiva, e o retorno posterior ao setor de *design*, por inconsistência e defeitos excessivos, elevando os custos finais do produto.

A intenção desta pesquisa não trata de optar por uma determinada filosofia produtiva, simplesmente ressaltar a importância do setor de *design do produto*, que nem sempre é levado em consideração com a devida importância e responsabilidade dentro do processo de industrialização e desenvolvimento das sociedades de consumo.

Parcialmente, conclui-se que o setor de *design* deva ser desenvolvido, e para que isto aconteça corretamente, deve-se empregar as ferramentas disponíveis, ou disponibilizá-las de forma correta, com a finalidade de gerar uma proposta que satisfaça a todos os agentes nela envolvidos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Com o passar do tempo, principalmente nesta era contemporânea, percebe-se que a evolução e o desenvolvimento dos avanços científicos são cada vez mais rápidos. Desta forma vai ficando mais difícil assimilar e usufruir as novidades com a mesma velocidade em que elas aparecem. Está-se num patamar da vida em que as novas tecnologias, com

suas diversas propostas, estão progressivamente mais comprometidas com as atividades cotidianas das pessoas. Questionamentos sobre a importância do uso apropriado ou não destas novas tecnologias têm sido levantados, tentando desvendar suas influências. A “mudança tecnológica”, vista com uma nova maneira de evoluir, está condicionada pelas transformações sociais e dos sistemas feitos pelo ser humano, que vão determinar as mudanças sociais e técnicas.

Apesar de ser uma ferramenta, a tecnologia assume um papel de condicionador, afetando, inclusive, o *design* de produtos. É provável que para entender como o *design* de produto é afetado, a resposta esteja por dentro do mesmo processo de *design*. Quando se aborda uma nova problemática, o primeiro que acontece é condicionar as opções a serem desenvolvidas em função dos recursos tecnológicos de que se dispõe. A aplicação de um raciocínio estruturado também é afetada. Claro, esclareça-se que isto não é aplicável a todas as situações em que se desenvolve o *design*.

O *Design*, visto como processo conceitual, apoia-se em estratégias, modelos e processos que o auxiliam em seu desenvolvimento. Estes são os elementos que vão constituir-se em um importante ferramental.

A inovação tecnológica passou a suprir as carências apresentadas por alguns métodos de *design*, fazendo-os mais rápidos, atingindo soluções de forma agilizada: porém, esta atitude pode disfarçar os defeitos inerentes aos próprios métodos. Desta forma explica-se a lentidão no surgimento de novos métodos e, em determinadas situações, a sua inexistência.

No entanto, o desenvolvimento limitado de novos métodos e modelos ocorreria em virtude do fato de que estes sejam suficientes para as exigências do *designer*. Também pode ser decorrente de uma pouca atenção no *design*, pelo fato de não ser considerado como um fator determinante nos diversos campos do processo produtivo industrial.

Já na década de 70, Jones (1978) aponta a necessidade de novos métodos, pensando-se que essa colocação traria rápidas mudanças. Porém, tempo depois, Pugh (1991) coloca que apesar da muita retórica e exortações feitas, ao longo de muitos anos, isso teve poucos resultados positivos e tangíveis.

Muitas situações em que o problema tenha requerido uma abordagem metódica para ser resolvido, enfrentam-se com o inconveniente de que os já clássicos métodos não lhes proporcionam a flexibilidade requerida pelos novos contextos tecnológicos que interferem com o *design*. Esta reflexão está vinculada à necessidade de agir rapidamente ante uma situação, para a qual se precisa ter à disposição uma estrutura metódica que permita afrontar a diversidade conjuntural de maneira mais efetiva. Às vezes, falta a definição

desta estrutura que comporte os métodos, atualmente existentes, e a forma de como eles devem ser abordados. Talvez, a busca de soluções não esteja centrada na própria área do *design*, como tem aparecido em outras áreas de conhecimento científico. Na atualidade, não se considera a globalização como agente influente, porém há uma latente necessidade de criar propostas que sejam mais abrangentes e ao mesmo tempo eficientes.

Já passou a época em que as estruturas sociais, baseadas em certos protecionismos tradicionais, limitavam a ação abrangente dos *designers*. Passou o tempo de se restringir aos especialistas o trabalho estritamente no campo científico, com as conseqüentes limitações na suas atitudes e propostas, geradas sobre uma visão parcial da realidade.

Atualmente, com a reconhecida importância dos trabalhos interdisciplinares, o campo de ação se amplia ultrapassando as inexistentes fronteiras divisórias das pessoas e suas sociedades, fomentando a colaboração total.

A responsabilidade assumida pelo *designer* traz como conseqüência um labor além de propostas simples que se finalizam na linha de produção. O horizonte traçado para suas colocações envolve uma clara compreensão das necessidades provindas da sociedade. Compreensão que só vai ser possível se ele tiver à disposição os recursos metódicos e bem estruturados do *design*, além da já considerada capacidade inata do *designer*. As propostas que surjam a partir desta elaboração conceitual e prática devem considerar aspectos tão complexos como o impacto social e ecológico, e a própria satisfação do consumidor.

Tendo em vista esta complexidade, os recursos de solução devem ser procurados onde eles estejam, além das limitações de estratégias ultrapassadas. A busca pode partir para qualquer canto do vasto conhecimento científico, tendo sempre em mente que não se trata de encontrar uma solução sofisticada pois, talvez, a solução esteja na simplicidade das formas que a própria natureza fornece.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

O setor de *Design de Produto* está caracterizado pela existência de vários modelos, estratégias, métodos e técnicas que auxiliam e são usados como ferramental de trabalho dos designers, tentando suprir diversas necessidades do mercado. Como foi colocado, percebe-se que o desenvolvimento nesta área tem tido uma evolução um pouco lenta, muitas vezes porque as próprias instâncias do mercado não exigiram a criação de grandes modificações. Deve ser esclarecido que o patamar do mercado mencionado refere-se aos

requerimentos da aplicação do *design* no processo produtivo. A presente dissertação não vai centrar-se no problema conjuntural, visando trabalhar diretamente com os métodos e técnicas presentes no *design* de produto.

A caracterização clássica dos métodos e técnicas conhecidos fornece uma bagagem de opções as quais nem sempre atingem à grande diversificação de usuários - *designers*. Na diversidade da espécie, o ser humano, que forma parte dela, é definido como um ser complexo, o qual nem sempre escolhe o mesmo caminho no instante de resolver problemas, porém chega a usar esquemas mentais e de comportamento preestabelecidos e de certa forma possíveis de serem caracterizados. Com isto não se afirma que o homem age programadamente, apenas que ele emprega estruturas aprendidas, assimiladas em certa forma como processo heurístico. Estas estruturações fornecerão opções, das quais ele pode eleger uma ou várias, combinando-as frente à confrontação de uma situação ou problema, embora ele tenha padrões de comportamento que se manifestam de diversas formas.

Com base nas idéias prévias, chega-se ao compromisso de que todo campo que desenvolve conhecimento científico deve orientar-se, de certa forma, a fornecer a maior diversidade de opções e possibilidades, com alternativas inovadoras no desenvolver e agir das ciências. É assim que o objetivo genérico da pesquisa ***centra-se na proposição de uma ferramenta de baixa complexidade de uso, que aprimore o processo de elaboração do design, com os conseqüentes benefícios de uma definição rápida e acertada de uma alternativa de produto.*** A proposta feita deverá ser assimilada pela maioria dos *designers*, tentando fechar as lacunas geradas por outros processos inadequados. Ciente da dificuldade de uma colocação tão abrangente como a suposta ferramenta previamente colocada, seria impossível que ela seja totalmente infalível, dependendo da característica pessoal do *designer* e da orientação que ele aplique.

A proposta de melhorar o processo de *design* tem como objetivo a busca de uma maior liberdade vista como um não condicionamento a usar um caminho predefinido, porém uma flexibilidade na geração do próprio caminho por parte do *designer*.

### 1.3.2 Objetivo específico

A pesquisa baseia-se numa visão do universo da Teoria do Caos e especificamente dos Fractais, sendo orientada na busca de uma nova abordagem dentro da concepção do Produto no Design Industrial. A partir destas concepções teóricas, com o claro conhecimento que define o Fractal, fusionado com os conhecimentos obtidos dos diversos métodos e técnicas de design do produto, ***pretende-se gerar um modelo que auxilie o designer a estruturar e expor as idéias e conceitos gerados no processo de Design de***

### **Produto.**

Não há intenção de determinar um modelo fechado e limitado, como opção restrita e única. Como coloca May (*apud* GLEICK, 1987) as equações simples não chegam a refletir com perfeição a realidade, sendo apenas metáforas desta. Assim, propõe-se evitar a imitação, no entanto, sob uma compreensão da base do princípio fractal. A imitação é inexistente desde a perspectiva de copiar processos, porém se orienta a uma compreensão destes princípios fractais deixando para a pessoa a possibilidade de fazer uma montagem conceitual a partir destes.

Assim, o modelo não chega a ser uma estrutura complexa, que ao ser abstraída gera uma função simples. Aliás, a simplicidade do modelo encontra-se em fornecer uma “*palavra-chave*” desta estrutura complexa, a qual será um elemento isento de complicações que através de suas sucessivas repetições, em diversas escalas, dará a possibilidade de gerar estruturas complexas, que em futuras análises, será fácil compreendê-las pela origem de seus componentes. O *designer*, ao adotar este elemento flexível, terá a possibilidade de colocar as variáveis pessoais, gerando uma estrutura de procedimento em concordância com os recursos disponíveis. Finalmente, com a idéia fractal em mente, se pode gerar uma série de regras específicas bem definidas, por parte de cada *designer*, facilmente repetidas e lembradas.

### **1.3.3 Resultados esperados**

A elaboração de todo projeto de produto traz conseqüências que muitas vezes escapam das mãos do designer, porém a presente pesquisa tem como finalidade secundária, o enriquecimento do ser humano. A forma como o modelo gerado contribuirá está em que ele possa ser entendido como uma ferramenta. Esta ferramenta, de simples manuseio e assimilação, será suscetível de ser personalizada pelo *designer*, a fim de resgatar os valores pessoais bem como os valores regionais, (aspectos culturais) nos quais o projeto será inserido.

## **1.4 HIPÓTESES**

### **1.4.1 Primeira Hipótese**

**Seria lógico pensar que um método que tem como base a observação de estruturas existentes na natureza seja apropriado para a área de *Design*?**

A observação assim como o estudo das interações que acontecem na natureza têm demonstrado que ao longo de muitos milhões de anos desenvolveram-se estruturas capazes

de autosustentar-se e manter equilibrado seus recursos. Desta perspectiva, parte-se do princípio de que a natureza vem agindo com eficácia.

Talvez seja difícil ver o nexos existente entre o *Design* e a *Natureza*, como fonte de inspiração, mas eles apresentam semelhança nos processos de resolver problemas. Ambos procuram uma constituição física de um propósito com economia, beleza, interação e relacionamento com o meio ambiente..

O único fator que vai diferenciar estes processos é o tempo. Enquanto a *Natureza* baseia-se em um longo processo de milhões de anos, de tentativa e erro pesquisando e escolhendo a mais viável das opções geradas, o design exercido pelo ser humano dispõe de um tempo limitado. O tempo na atualidade é um fator importante, sendo que as mudanças levam pouco tempo, deixando, rapidamente, obsoletas as propostas geradas há um curto prazo (BERNSEN, 1995).

Imersos em um pensamento retrospectivo, consideram-se as variáveis naturais e suas diversas representações como geradoras de um pensamento ecológico. Se é importante considerar a ecologia, não é de interesse gerar uma abordagem nesta linha de pensamento, porém, obter um princípio da natureza, que nos leve a ter uma maior compreensão dela e que a interação da convivência seja mais harmoniosa entre as partes.

Mesmo que as idéias não sejam claramente apresentadas ao nosso redor, é questão de tirar a lente do artificial para poder enxergar as soluções simples com que a Natureza vem agindo e resolvendo seus problemas, inclusive muitos deles criados pelo próprio ser humano. Pode-se inferir que a natureza resolve todo vazamento artificial: no entanto, esta capacidade está enfraquecendo-se de forma gradativa.

"Talvez mais relevante que os vários detalhes do seu legado cultural, os gregos nos ensinaram como é importante nos perguntar sobre o mundo à nossa volta e sobre nós mesmos. Seu amor pela razão e sua fé no uso do raciocínio como instrumento principal na busca do conhecimento formam o arcabouço fundamental do estudo científico da Natureza. Não devemos nunca fugir dessa busca, intimidados pela nossa ignorância. O medo deve ser combatido com a razão e não com mais medo. Essa, para os gregos, é a chave da sabedoria." (pp. 88, GLEISER, 1998)<sup>1</sup>

Assim a primeira hipótese centra-se em uma proposta que tem sua configuração inicial numa estrutura abstraída da natureza a qual fornecerá uma ferramenta que, bem manejada, ajudará na construção de um futuro menos nocivo.

### 1.4.2 Segunda Hipótese

#### **Entendido o termo Fractal, será possível que ele, formando parte de nossa natureza, possa servir como elemento base do modelo a ser proposto?**

Nas ciências tem-se uma abordagem com enfoque baseado na Teoria do Caos. Esta abordagem propõe uma nova forma de ver as coisas, na qual a premissa base coloca que tudo é afetado pelas mínimas variações das condições do meio onde se realiza a pesquisa ou o experimento, sendo conhecido como o "*efeito borboleta*" de Lorenz (1963 *apud* GLEICK, 1987). Durante muito tempo considerou-se um meio sob condições ideais para avaliar as experiências, o que na realidade não acontece. A matemática tradicional, durante um período, negou-se a aceitar que poderiam existir problemas insolúveis, baseados em equações não lineares.

Costumeiro era colher tudo aquilo que tinha previsão de chegar a um final lógico (entendendo isto como tudo aquilo que se encaixava dentro do contexto do momento). Matemáticos não negavam a possibilidade da existência de problemas sem solução, porém estes sempre foram deixados de lado ante um temor de perder-se numa história sem fim.

Nesta mesma época começam a aparecer pesquisadores, que saindo dos padrões, aventuram-se por campos ainda inexplorados, nos quais só a vontade de chegar a uma maior compreensão dos fatos da natureza lhes fez chegar a definir propostas que questionaram a matemática tradicional. Com isto se passou de uma adaptação dos problemas em função das limitações do laboratório a uma aproximação do laboratório aos problemas e fenômenos existentes, posição reforçada pela colocação feita por Kepler, na qual as teorias devem incluir dados experimentais, reais, e não o caso contrário. Desta maneira ele continuou inspirando-se nos gregos, colocando também que toda teoria que descreva um fenômeno natural deve ser física, pois tem que revelar as causas que estão por trás do comportamento observado, constituindo-se em dois aspectos importantes na ciência moderna (GLEISER, 1998). É assim que contribuições de científcos, pouco compreendidos em suas respectivas épocas, vão mudar muito a situação das ciências, dentro delas a mencionada matemática, abrindo-se à discussão. Claro está que o processo levou muitos séculos para tornar-se viável.

Com base no princípio escalar dos fractais, têm sido realizadas pesquisas nas diversas áreas, como a física, economia, geologia, administração, entre outras. O elemento que vai definir sua importância consolida-se na sua *flexibilidade*. Também em poder trabalhar com um número mínimo de variáveis, entendido como a possibilidade de

---

<sup>1</sup> GLEISER, Marcelo. *A dança do universo*. São Paulo, Companhia das Letras, 1998.

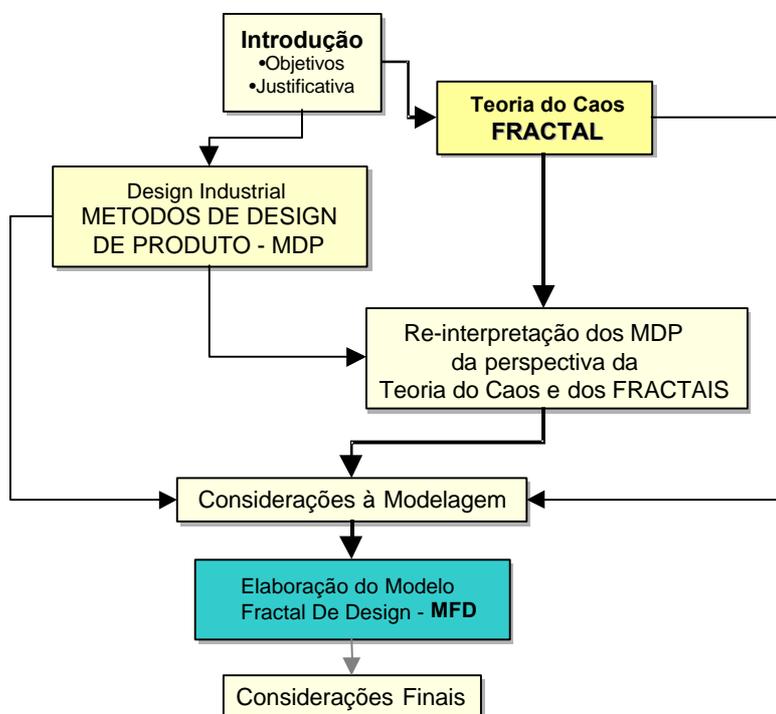
modificar suas dimensões, bem como trabalhar com poucas constantes. Tudo isto é possível graças a constante dos elementos a serem empregados, embora em diferentes tamanhos ou escalas.

Desta forma, tem-se a possibilidade de gerar uma infinidade de propostas, sem a necessidade de recorrer a complexas formas estruturais, as quais nem sempre têm uma padronização e identidade unitária.

Os fractais, com base do modelo proposto, partem do princípio do emprego de um número mínimo de elementos iniciais, os quais serão usados e multiplicados por fatores conhecidos ou simplesmente reproduzidos quantas vezes for preciso para se atingir o alvo. A proposta baseia-se na simplicidade deste sistema, simplicidade refletida na repetição escalar. No entanto ela pode aparecer de forma complicada, justamente pela infinidade das repetições.

## 1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA

O procedimento adotado no desenvolvimento da pesquisa do presente trabalho contempla quatro grandes estágios compreendidos desde a *Introdução* até a definição do *Modelo Proposto*. Este processo pode ser observado na *figura 1.1*.



**Figura1.1** Esquema da pesquisa.

A *Introdução* vai definir os objetivos e sua justificativa na busca de uma solução a

uma problemática apresentada. Serão levantadas algumas hipóteses que ajudarão a definir o marco no qual será desenvolvido o modelo projetado.

O primeiro dos quatro estágios mencionados refere-se à *Teoria do Caos*, com a ênfase centrada especificamente no *Universo Fractal*<sup>2</sup>. Nesta etapa será feito um levantamento bibliográfico que inicia-se na compreensão da *Teoria do Caos*, a qual servirá como contexto para a compreensão dos *Fractais*. Uma vez entendido o fundamento básico que delimita a Teoria do Caos, será possível a formação da idéia do surgimento dos Fractais. Já a definição de Fractal busca esclarecer sua importância no Caos e principalmente a detecção das características que o definem. A informação coletada passa por uma re-interpretação numa linguagem menos matemática, com a finalidade de evidenciar os conceitos básicos, constituintes dos *fractais*, que serão empregados num estágio posterior.

Em um segundo estágio, está a área de *Design Industrial*, com uma análise *dos Métodos de Design de Produto MDP*. Após uma breve definição do *Design*, prioriza-se a descrição dos métodos que auxiliam o *designer* na elaboração de uma nova proposta de produto. O procedimento adotado para esta etapa passa, primeiramente, pela detecção das macro famílias que organizam os métodos, estratégias e ferramentas existentes. Em seguida, se definirá a melhor forma de estruturar os diversos métodos, tomando em conta, propostas existentes ou não, bem como a melhor adaptação da informação para uma posterior manipulação.

O terceiro estágio compreende a *Re-interpretação dos MDP da perspectiva da Teoria do Caos e dos Fractais*. Esta etapa vai constituir-se numa peça importante da pesquisa, porque é nela que será confrontada a informação obtida dos Fractais e Caos, com aquela obtida da área metódica do *design*. O resultado desta confrontação permitirá verificar se realmente existe umnexo entre estas duas áreas de conhecimento, fornecendo o suporte para uma proposta posterior.

Como quarto patamar a ser executado, encontra-se a elaboração das *Considerações à Modelagem*, que vão constituir a receita que permitirá a elaboração do modelo.

Finalizada esta etapa da pesquisa, é feita a *Elaboração do Modelo Fractal de Design MFD*, considerando as características previamente apontadas. O MFD inicialmente será pensado como uma formulação matemática, apoiando-se nas características fractais e nas

---

<sup>2</sup> Nas palavras do criador deste termo, o matemático Mandelbrot, "*fractal*" é substantivo e adjetivo, tanto em francês como inglês, do latim "*fractus*" (*adjetivo*) e "*frangere*" (*do verbo*), que significa "*quebrar*", "*fraturar*".

condicionantes caóticas. A partir deste ponto serão acrescentados os conceitos e idéias vistas no terceiro estágio, com o intuito de definir os elementos que intervirão no modelo. Estes componentes definidos serão estruturados baseando-se na distribuição hipotética da formulação matemática. A conformação da estrutura final responderá às exigências dos conceitos de Design e Fractal, constituindo-se num sistema de fluxo contínuo, regulável pelo próprio designer. Uma consideração importante encontra-se na definição dos componentes envolvidos, já que eles são direcionados a partir do estágio de design, que por sua vez está inserido como uma parte do processo produtivo de um novo produto. Da mesma forma, estes componentes são genéricos com a intenção de dar liberdade na aplicação do MFD em qualquer situação.

## 1.6 LIMITAÇÃO DO TRABALHO

A pesquisa não tem por interesse a aplicação prática do modelo, já que ele não chega a propor uma estrutura totalmente detalhada, porém a base para a geração desta. A orientação da proposta tem como alvo a geração da informação suficiente para uma posterior elaboração de um modelo aplicativo, que leve a uma inserção prática na área do *Design*. Entre outras limitações, considera-se que não serão abordados nem avaliados conceitos nas áreas da cognição, cultura e *design*, apesar de que este último será parcialmente definido. A presença destes elementos será referenciada e de uso para construção da proposta, em outros termos, de apoio como informação conjuntural e implícita.

Não existirá uma exaustiva demonstração matemática da abordagem Fractal por não ser diretamente útil à pesquisa. A apresentação destes conceitos tem como finalidade uma re-interpretação, mais em nível de significado e transcendência que de conteúdo.

A proposta terá como finalidade a apresentação de uma nova visão da perspectiva do *designer* no *design* de produto, assim como de um conceitualismo aberto a discussão por parte deste.

O objetivo da pesquisa não é definir o perfil do *designer*, entretanto, criar uma forma de estruturar os processo de *design* de forma que seja aplicável na grande variedade de perfis destes potenciais designers.

Não há restrição prática pois a proposta chega apenas a uma proposta teórica. Os conceitos apresentados são encaminhados para fornecer uma janela na vasta gama de conhecimentos em desenvolvimento atualmente, embora tente fornecer a base para desenvolvimentos futuros na área de *design* de produto e em geral na área de *Design*.

## CAPÍTULO II

---

### A TEORIA DO CAOS

Em meados deste século, depois de toda aquela absurda matança da Segunda Guerra Mundial, começa a reconstrução do mundo. Enfatiza-se mundo, porque agora é bem sabido que indiretamente afetou a todos; se recomeça a planejar tudo, a renovar, em todos os campos de conhecimento, entre eles o da matemática, que mantinha uma linha “conservadora”. Apesar desta tendência e quando tudo se pensava resolvido, na matemática, começava a surgir uma nova corrente de pesquisadores que questionavam os acontecimentos pouco tocados, deixados de lado, por simples questões de infra-estrutura para resolvê-los. É assim que diversos pesquisadores começaram a fazer investimentos em áreas, nas quais, não sabiam se teriam sucesso e possivelmente se encontrariam uma solução de problema nenhum.

A motivação partiu da necessidade, na qual eles acreditavam, de poder fazer uma maior descrição quantitativa da natureza (MANDELBROT, 1991), como ponto de partida para futuros melhoramentos em situações apresentadas. Entre os cientistas, por dentro desta nova era, estava o matemático polonês *Benoit Mandelbrot* que, baseado em suas pesquisas, terminaria colocando:

"Já muitas vezes mostrei estar pronto a contradizer quase todos os meus antepassados científicos, declarando que uma parte daquilo que eles ganharam o hábito de considerar patologia matemática deverá, de ora em diante, ser reclassificado como a expressão da robusta complexidade do real." (pp. 175, MANDELBROT, 1991)<sup>3</sup>

Nessa época se vivia uma dissociação entre a matemática e a física, o que acarretava problemas, pois o entendimento da natureza requeria unificá-las. Mandelbrot(1991), muitos anos depois, colocaria que as grandes equações da física matemática são o nível mais elevado das ciências da natureza.

---

<sup>3</sup> MANDELBROT, Benoit B.. *Objetos Fractais*. Lisboa: Gradiva, 1991.

A pequena introdução feita até agora objetiva uma maior aproximação com os conceitos científicos da matemática e da física de uma forma mais familiar. A presença de Benoit Mandelbrot e sua importância para o trabalho, na sua visão da fragmentação (sob o nome de Fractal), fundamental em sua pesquisa, permitirá ingressar num novo mundo da geometria da natureza. Seria um pouco incorreto tentar explicar esta nova abordagem, sem mencionar a corrente ideológica que esta por trás, que é a Teoria do Caos, a qual traz uma sensibilidade com o mundo real.

## **2.1. E QUANDO SE PENSAVA QUE TUDO ERA UM “CAOS”**

Você já reparou no que acontece com o líquido contido no liquidificador quando muda de baixa para alta velocidade? A primeira constatação que se fará é a de que se precisa tampar o copo, caso contrário, o conteúdo ficaria espalhado por todos lados. Mas não é só esse o acontecimento, observando-se detidamente o líquido contido no copo, perceber-se-á que, em baixas rotações do motor, ou seja, na velocidade mínima, o líquido se vê tão regular e uniforme em seu movimento, que qualquer usuário poderia, tranqüilamente, trabalhar sem tampa, embora isto não seja correto, na prática é o que acontece.

Fazendo um seguimento continuo das mudanças do líquido em movimento, ao mesmo tempo que se vai incrementando as rotações do motor, perceber-se-á que até um certo ponto, alto, da velocidade do motor, o fluxo do líquido em movimento só incrementa sua rapidez, porém chegará a um ponto onde repentinamente tudo muda, e aquela ordem mantida até então desaparece, e o conteúdo começa a ser jogado para todos lados (DIBAN & GONTIJO, 1999a).

Este pequeno episódio cotidiano serve para representar, com algo tão próximo de nossas vidas, o que é conhecido como a "Teoria do Caos". Antes de desvendar esta teoria, faz-se uma aproximação com os fatos acontecidos com seus criadores, sabendo que o surgimento da teoria do caos começou no final do século XIX, com as idéias e conceitos de Henri Poincaré, partindo apenas das experiências do matemático estadunidense Edward Lorenz.

Lorenz, como foi mencionado, formado em matemática, foi sempre tão apaixonado pela meteorologia, que foi a área de conhecimento para a qual direcionou a matemática (GLEICK, 1990). No universo da meteorologia, destaca-se como objetivo fundamental o prognóstico das condições climatológicas. Sem detalhar ao executar esta função, são levados em conta muitas variáveis, com exemplo, o vento, o sol, a umidade, as nuvens etc.

Nos anos 60, Lorenz começava a montar uma reprodução das condições climáticas, de um ponto de vista mais simplificado, deixando de lado certas condições que, para o modelo de reprodução do real, não seriam práticos. É assim que ele tentava ter uma aproximação do que seria um sistema dinâmico da natureza. Começou a coletar dados para alimentar o modelo que ele montou num rudimentar computador. Sendo a construção do modelo baseada nas equações de Navier - Stokes com aplicações de Fourier, que apesar de não ter um resultado adequado, os dados obtidos forneceram, de uma maneira simples, características de um sistema não-linear, com áreas de turbulência e caos determinístico, o que ele ainda desconhecia (FRØYLAND, 1992).

Os primeiros resultados obtidos deste modelo satisfaziam apenas as condições imediatamente iniciais dos fenômenos, mas a medida em que o tempo passava, a distorção destes valores era cada vez maior, do que poderia ser uma predição certa. Continuando com o trabalho, em 1963, define um grupo de três equações diferenciais, para o fluxo de fluido de convecção, determinando que para um patamar de valores determinado, existia uma sensibilidade às condições iniciais, como exemplo de caos determinista, sendo este o primeiro estudo numérico do comportamento caótico para um sistema dinâmico não linear (TURCOTTE, 1992; BAKER & GOLLUB, 1996).

O pensamento científico que circulava naquela época colocava que: aproximadamente as mesmas causas seguem aproximadamente o mesmo efeito, tanto na natureza como em uma experiência de laboratório, o que se levava em consideração como certo, para curtos períodos de tempo. Acrescentando-se, que se não for desta maneira, não se poderia aplicar as leis naturais, bem como não se poderia construir nenhuma máquina funcional. Porém, isto não é universalmente verdadeiro, como Lorenz vinha demonstrando com suas experiências nos modelos de predição climática (PEITGEN *et al.*, 1993). “(...) the main maxim of science is its ability to relate cause and effect. (...) Since there is no clear relation between cause and effect, such phenomena are said to have random elements.” (pp. 10, PEITGEN *et al.*, 1993)<sup>4</sup> Com isto se deixa claro, que a presença de comportamentos aleatórios influencia qualquer sistematização repetitiva dos fatos.

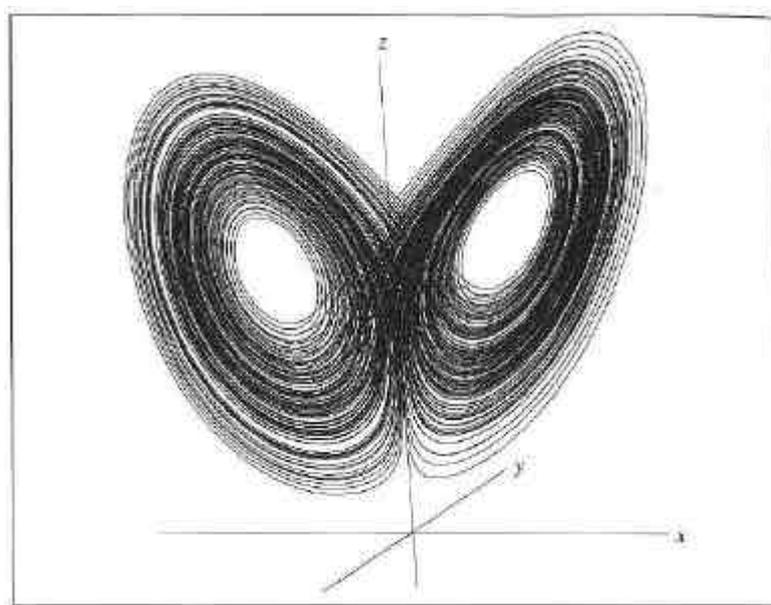
Lorenz fez uma representação gráfica dos dados obtidos nas suas experiências, percebendo que a medida em que ia incrementado o número dos dados, percebia-se uma peculiaridade, a existência de dois pontos de atração (*Atratores, explicados mais adiante*)

---

<sup>4</sup> “ (...) conduta principal da ciência é sua habilidade de relatar causa e efeito. (...) Desde ali não há uma clara relação entre causa e feito, tal fenômeno e dito que tem elementos aleatórios.”

PEITGEN, Heinz-Otto; JÜRGENS, Harmut & SAUPE, Dietmar. **Fractals For The Classroom - Part One, Introduction to fractas and Chaos**. New York: Springer-Verlag, 1993.

*figura 2.1*, que faziam com que o fluxo da curva gerada deslocasse de um a outro ponto, constantemente. Também constatou que nenhum dos valores se repetiam, criando uma curva infinita de pontos não comuns. Tudo isto o levou a pensar no desvio existente na progressão dos valores ao longo do tempo.



**Figura 2.1** Algumas trajetórias do atrator de Lorenz (PIETGEN *et al.*, 1993).

Depois de repetitivas experiências, Lorenz colocou que todo sistema dinâmico poderia ser afetado imprevisivelmente, com uma mínima variação dos valores iniciais, o que logo seria conhecido como o “*Efeito Borboleta*”. Assim, o simples bater das asas de umas borboletas de um hemisfério do planeta, depois de um certo período de tempo, afetariam as condições climáticas do outro hemisfério. Isto reforçava o que ele dizia, que era praticamente impossível prever as condições climáticas de uma determinada região, por mais que se colocassem sensores distantes 30 cm, um do outro, pois sempre existiria um espaço entre eles no qual existiria uma ínfima variação, não detectada pelo sensores, que depois de um determinado período de tempo, seria notória e surpresa. É por isso que atualmente são chamados de prognósticos do tempo, pois nada pode ser 100% certo. E isto é possível nas leis naturais, pois o determinismo, que não é equivalente à previsibilidade, não exclui a possibilidade do caos. O mais surpreendente é que este efeito pode ser observado em vários sistemas, mais simples que o do clima (PIETGEN *et al.*, 1992). Depois das experiências de Lorenz, e ao mesmo tempo, outros científicos trabalharam com os problemas da modelagem dos fenômenos.

Como poder entender, de maneira científica, um determinado fenômeno natural, permitindo trabalhá-lo? Pois como os científicos colocam trata-se de um sistema dinâmico, definido como (...) “um tal sistema consistente de uma função que produz iterativamente um novo valor a partir do valor obtido precedentemente.” ( pp. 18, SERRA & KARAS, 1997)<sup>5</sup>

Dentro desta família dinâmica, encaixam os sistemas não-lineares, entendidos como todos aqueles que não mantêm uma uniformidade no seu desenvolvimento interativo à medida em que passa o tempo. Já Libchaber & Feigenbaum (GLEICK, 1990), colocam que os sistemas biológicos na busca de sua estabilidade usavam a não-linearidade como defesa contra o ruído, que em um fluxo sensível poderia ser perturbado, mudando o comportamento. Pietgen *et al.* (1993) definem a propriedade da estabilidade, em termos matemáticos, como um processo que produz uma seqüência de resultados com tendência a aproximar-se de *um* objeto, que é independente de como começa o processo. Essa estabilidade é conseguida mediante uma retroalimentação não-linear regular (caso de interação contínua de um sistema dinâmico) dela mesma, fazendo com que o movimento tenda a um sistema estacionário de forma automática. Isto pode ser entendido quando qualquer sistema ameaçado por uma perturbação começa a comportar-se ligeiramente irregular, em busca de compensar e voltar a seu estado original (GLEICK, 1990). Acredita-se que o sistema solar é estável; por isso se ocorrer uma perturbação na órbita da Terra, ela voltaria novamente ao curso normal, pois se acredita nisso e por que ninguém viverá o suficiente para ver o contrário (MANDELBROT, 1983).

A parábola medieval dos ratos e as solteironas: “Na época medieval, havia períodos em que a safra era pobre, pois os campos estavam infestados de ratos, tendo como resultado dotes pobres, o que se refletia no incremento de filhas solteironas dos fazendeiros. Como estas moças não casavam, dedicavam-se a criar gatos, população que se incrementava dramaticamente, o que em troca era ruim para a população de ratos. Esta diminuição da população de ratos trazia, a volta das boas safras, o retorno de dotes ricos, a diminuição de gatos e novamente a volta dramática dos ratos” (PIETGEN *et al.*, 1993). Este processo se repete uma e outra vez; com isto se procura explicar como é complexo um sistema dinâmico populacional, tendo um comportamento cíclico.

Por *sistema intransitivo* entende-se que onde se pode observar um determinado comportamento por um longo período, também se pode observar outro totalmente diferente, mas nunca os dois ao mesmo tempo. A mudança de um comportamento para

---

<sup>5</sup> PENTEADO SERRA, Celso; WEGNER KARAS, Elizabeth. **Fractais - gerados por sistemas Dinâmicos Complexos**. Curitiba: Editora Universitária Champagnat, 1997.

outro se dá por uma força externa e pode-se dar rapidamente, como se fosse um salto (GLEICK, 1990). Também refere-se à existência de estruturas em sistemas não lineares que são sempre as mesmas, se encaminhadas adequadamente (GLEICK, 1990).

Esta presença da não-linearidade existente na natureza faz entender que não é possível estabelecer uma definição absoluta de um fato e suas conseqüências. É assim que, em um curto prazo de tempo, qualquer ponto num espaço pode representar o comportamento possível do sistema dinâmico, e, a longo prazo, os únicos comportamentos possíveis são os dos próprios atratores.

Colocado sobre a existência da irregularidade nos fluidos, no exemplo inicial, surge o questionamento sobre o que gerou essa mudança? A turbulência. A importância de entender a turbulência é, como coloca Turcotte (1992), o maior exemplo universal de comportamento caótico nos fluidos. Ela poderia ser entendida de muitas maneiras, mas, o mais importante que ela traz é uma porção de desordem em todas as escalas. Poder-se-ia dizer que são redemoinhos dentro de grandes redemoinhos, dinamismo instável, baseado num movimento aleatório, sendo muito dispersiva ao retirar energia e criar arrastamento (GLEICK, 1990).

Segundo a teoria de Landau (*apud*, GLEICK, 1990) a turbulência é um amontoado de ritmos que competem, e cada um é incompatível com o anterior. Como é vista, a turbulência basicamente tem um ordem aleatória implícita, aceitando-se que é um mito a existência de turbulência homogênea, caracterizando-se por sua “intermitência” (MANDELBROT, 1983). A interação, conhecida como o intervalo entre dois erros, seria *degenerada* se ocorresse num único ponto, sendo *relativo* o caso contrário quando existe simultaneamente um conjunto simples no qual passa tudo ao mesmo tempo e não existe um lugar onde não passe nada (MANDELBROT, 1991).

Retomando a idéia da porção de desordem em todas as escalas, é visto como ela se apresenta no vôo de um avião. Um avião de grande porte enquanto voa é sacudido em certos pontos da atmosfera, pois a evidência da existência de que estes pontos apresentam turbulência, fora deste vôo é normal. Refazendo o teste com um avião menor, percebe-se que naquelas porções de vôo tranquilo do avião maior, existem pequenas porções turbulentas para o menor. Também, se constata que naqueles pontos de turbulência do avião maior, existem porções de sacudidas mais fracas. Se examinada em detalhe cada porção turbulenta se verá que existem tanto subporções turbulentas como não turbulentas (MANDELBROT, 1991). À sugestão de Mandelbrot (1991), o modelo de turbulência (ou de ruído, como também é conhecido) poderia ser construído em duas aproximações: a primeira coloca que o escoamento é regular chegando a ser uniforme; e a segunda, aceitará

que qualquer cubo de espaço, tem pelo menos uma pequena porção de turbulência.

A presença de pequenas ou grandes desordens manifestas nas experiências de May, Lorenz e outros começaram a gerar um novo conceito caótico, o da “Teoria do Caos”, dado a inexplicável mudança de comportamentos sob certas condições. As revelações do caos contribuíam para uma veemente controvérsia em seu campo. (MAY *apud*, pp. 73 GLEICK, 1990) Percebeu-se que existia uma sensibilidade ante certos estímulos, entendidos como condições iniciais, as quais refletiam no resultado da experiência de diversas formas, nem sempre de uma maneira previsível, como eles tentaram fazer. Já Joseph Ford (*apud*, GLEICK, 1990), colocou que a evolução é o caos com retroalimentação, aqui lembra-se aquele conceito da estabilidade dos sistemas não lineares por meio da retroalimentação, só que ele acrescenta que esta retroalimentação tem uma característica caótica. Um sistema caótico é imprevisível pela sensível dependência nas condições iniciais (DEVANEY, 1997); as variações infinitesimais nas condições iniciais leva a diferenças de primeira ordem nas soluções obtidas (TURCOTTE, 1992). Uma forma de entender melhor estas variações é através do exemplo colocado por Pietgen *et al.* (1992), sobre a interação de uma fórmula feita em duas calculadoras, de marcas diferentes, ao mesmo tempo. Para esta experiência, se empregaram uma calculadora *Casio*, que trabalha com uma aproximação de 10 decimais, e uma *HP* que tem aproximação de 12 decimais. O valor inicial fornecido foi processado interativamente nas duas máquinas, percebendo-se que depois da 30ª interação, existia uma variação da ordem do 4º decimal, mais na frente na 35ª a variação passava para o 2º decimal, seguidamente a variação passa ao 1º decimal na 50ª interação com uma diferença surpreendente. O valor obtido pela *Casio* era de 0.0036 contra os 0.2257 da *HP*. Esta grande diferença se apresenta pela capacidade limitada de trabalhar com o valor em toda sua extensão pela calculadora *Casio* em função da *HP*. Mas isto não quer dizer que uma seja melhor que a outra, já que as duas tem limitações que serão percebidas ao se comparar com outra maior. O exemplo reflete a limitação do equipamento existente para trabalhar com as magnitudes verdadeiras, deixando de lado valores que, inicialmente, são considerados insignificantes, porém a longo prazo geram uma mudança significativa.

Estabelecendo-se a diferença no ingresso de valores para um sistema caótico de um não caótico tem-se que o primeiro comportará um erro crescendo exponencialmente e o segundo um crescimento linear com o tempo. Em um curto prazo de tempo, se desconhecerá o sistema caótico que será conhecido como “sensível a condições iniciais”. O primeiro a reconhecer este fenômeno foi o matemático e astrônomo Henri Poincaré (1854-1912), ao dizer “(...) it may happen that small differences in the initial conditions produce

very great ones in the final phenomena. A small error in the former will produce an enormous error in the latter. Prediction becomes impossible, and we have the fortuitous phenomenon (Poincaré, 1913).” ( pp. 1 , BAKER & GOLLUB, 1996).<sup>6</sup>

O Caos igualmente é entendido como a coexistência de todos os elementos ao mesmo tempo, ou seja, as polarizações criadas a um mesmo instante. Dá-se uma inexistência de ordem, mas não de algum elemento complementar. Não há carências, senão existência total de tudo. O sistema caótico se caracteriza por não retornar a um ponto previamente visitado, fazendo com que não exista uma periodicidade de órbita (FRØYLAND, 1992). Mas esta não é a única característica que delimita um sistema caótico, já Baker e Gollub (1996) colocam que se precisa de três variáveis: a) convergência de trajetórias, b) confinamento de movimento a uma região do espaço da face das variáveis dinâmicas, e c) singularidade da trajetória. De outro lado, Devaney (1997) coloca que os ingredientes que possui o caos são: a) imprevisibilidade, b) indecomponibilidade, e c) um elemento de regularidade. Finalmente Barnsley (1988) coloca que uma órbita caótica não é periódica, mas transitiva, e tem dependência sensitiva às condições iniciais, a que Frøyland (1992) acrescenta que não ocorre uma órbita periódica como conjunto limite.

Outro dos alcances da teoria do caos, além do comportamento sensível aos estímulos iniciais, é o da metodologia empregada e sua precisão, pois está projetada para uma precisa avaliação científica dos comportamentos caóticos nos modelos matemáticos assim como nos fenômenos reais. Assim, usando esta metodologia se pode estabelecer o "horizonte previsível" de um sistema. Mas, como em muitas das situações, as ferramentas disponíveis não trabalham com toda a capacidade dos fatos, ou seja, como os valores reais das variáveis em toda sua extensão, estreitando o alcance deste horizontes, fazendo com que as previsões não sejam para um longo período de tempo (PEITGEN *et al.*, 1993).

Uma forma de caos, que pareceria fornecer uma certa previsibilidade, é a do caos determinista, constituído por sistemas dinâmicos que podem dar origem a comportamentos com grande dificuldade de não serem considerados aleatórios. Assim Norbert Wiener, na década dos 30, pensava que por mais que a turbulência fosse criada por um processo determinista, deveria ser analisada sob um ponto de vista aleatório, idéia que tomaria forma com os trabalhos posteriores de David Ruelle, na década de 70 (MANDELBROT, 1991).

---

<sup>6</sup> É provável que aconteça que pequenas diferenças em condições iniciais produzirão umas bem grandes no fenômeno final. Um pequeno erro no primeiro produzirá um grande erro no segundo. A previsão torna-se impossível, e temos um fenômeno fortuito. BAKER, Gregory L., GOLLUB, Jerry P.. **Chaotic Dynamics - an introduction**. New York: Cambridge University Press, 1990, second edition 1996.

O comportamento caótico dos sistemas é expressivo pela existência dos atratores. Ao retomar as idéias de Henri Poincaré, os físicos Ruelle e Takens, em 1971, mostraram que num grande número de casos o atrator é «estranho»; já Gleick (1990) coloca que estes físicos, ao criarem esse conceito, forneceram uma das invenções mais poderosas da ciências modernas.

Os atratores são entendidos como pontos “críticos” na perspectiva de criar comportamentos inesperados num sistema dinâmico, sendo muito deles desconhecidos, e por isto chamados “atratores estranhos”. São chamados de atratores estranhos pelo fato de terem a dimensão não inteira ou fracionária e terem como característica não mudarem com o tempo (FRØYLAND, 1992). Mas não só existe atrator, como o núcleo de atração, também existe a contrapartida, ou seja, os repulsivos. Ao pegar-se um cone e colocar a ponta para cima, e nela tentar colocar, em estabilidade, uma esfera pequena, ela não ficará, sendo deslocada para qualquer lado, o que também mostra a aleatoriedade da repulsa, sendo esta ponta do cone um repulsivo. Se invertido o processo, colocando-se a ponta do cone para baixo a esfera, colocada na beira do cone, vai ter a tendência de ir para o centro do cone, definindo o centro interno do cone como um atrator, ou como se entenderia o centro de atração (MADELBROT, 1991). Se bem existe essa tendência a ir para o atrator, o sistema dinâmico não atinge o citado “ponto”, tão só influencia na trajetória do sistema em funcionamento, como se fosse um campo magnético. Porém, são definidos dois tipos de atratores para um sistema, sendo um deles um volta fechada e o outro um ponto fixo (MANDELBROT, 1983). Muitos textos de mecânica colocam que os atratores dos sistemas dinâmicos são pontos, círculos ou formas euclidianas, mas são raras exceções pois o comportamento dos sistemas dinâmicos é incomparavelmente mais complicado. Seus atratores ou repelentes tendem a ser fractais (MANDELBROT, 1983). Lyapunov, mediante seu expoente, fornece uma importante conexão entre a geometria fractal dos atratores, que ressalta as características fractais do atrator, e a propriedade de dependência sensível das condições iniciais, como sinônimo de sua natureza altamente caótica. (BAKER & GOLLUB, 1996)

A presença dos atratores no infinito pode ser definida como: “O infinito é um atrator vigoroso na dinâmica das funções polinomiais. Quase todo o plano complexo, à exceção de uma região limitada, constitui a bacia de atração do infinito.” ( pp. 92, SERRA & KARAS, 1997)<sup>7</sup>

Mandelbrot (1991) como FRØYLAND (1992) determinam que os atratores

---

<sup>7</sup> SERRA, Celso Penteadó; KARAS, Elizabeth Wegner. **Fractais - gerados por sistemas Dinâmicos Complexos**. Curitiba: Editora Universitária Champagnat, 1997.

estranhos, baseados na peculiaridade de sua dimensão multifracionária, pertencem a família dos objetos definidos matematicamente e chamados de fractais, sendo que para muitos propósitos, um atrator será estranho quando seja fractal. (MANDELBROT, 1983).

As suposições de homogeneidade de um sistema dão lugar a outra suposição, a de intermitência que, quando esta é um pouco idealizada, parece altamente fractal (GLEICK, 1990).

Seria comum pensar que todo sistema caótico, sendo complexo em seu comportamento, aleatório, criando uma não definição de seqüência, não seria suscetível de entendimento. Mas isso não é tão certo. Numa tentativa de explicar a existência de um ordem dentro do desordem aparente do caos temos que: "O universo é aleatoriedade e dissipação, sim. Mas a aleatoriedade com direção pode produzir complexidade surpreendente. E como descobriu Lorenz há muito tempo, a dispersão é um agente da ordem." (JOSEPH FORD *apud*, pp. 302, GLEICK, 1990) <sup>8</sup>

Complementando esta idéia: "A aplicação física era de que os sistemas do mundo real se comportavam da mesma maneira identificável, e que além disso era mensuravelmente a mesma." . (MAY *apud*, pp. 73, GLEICK, 1990) <sup>9</sup>

A importância do prévio estudo dos sistemas dinâmicos e caóticos, é porque seria impossível falar dos fractais sem mencioná-los, já que são esses sistemas que os criam (PIETGEN *et al.*, 1993), como quem proporciona a chave da dinâmica não-linear são as estruturas fractais (GLEICK, 1990).

---

<sup>8</sup> GLEICK, James. **Caos-A criação de uma nova ciência**. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda., 1987.

<sup>9</sup> GLEICK, James. **Caos-A criação de uma nova ciência**. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda., 1987.

## CAPÍTULO III

---

### A GEOMETRIA FRACTAL

#### 3.1. PRIMEIRAS ABORDAGENS FRACTAIS

"A geometria fractal e o estudo do caos estiveram na origem de movimentos independentes, (...) (...), contudo, mantiveram-se, em grande parte, unidos. Para começar, foi desde logo evidente que os «atratores estranhos» de Ruelle eram fractais. " De uma forma mais geral, o estudo do caos determinista deu origem a inúmeras formas geométricas muito complicadas. A geometria habitual é absolutamente incapaz de as tratar, enquanto a geometria fractal constituía, à partida, uma ferramenta perfeitamente apropriada para o seu estudo. (...)desenvolveram a técnica dos multifractais (sem usar esse nome), com vista ao estudo das formas geométricas criadas pela turbulência no espaço real." (pp. 209, MANDELBROT, 1991)<sup>10</sup>

A geometria fractal apresenta-se como uma poderosa ferramenta de descrição para formas como as das nuvens, de maneira tão simples como um arquiteto faria a de uma casa usando a geometria tradicional. É provável que a busca de uma escala característica da geometria fractal, para alguns elementos presentes na natureza, torna-se uma perturbação. Se um objeto tem uma ordem fractal oculta, então será possível, com poucas regras, codificá-lo, considerando que grande parte da natureza tem uma ordem fractal oculta (MANDELBROT *apud*, GLEICK, 1990).

Mencionada a palavra fractal, embora não tenha sido definida, remonta-se a suas origens e volta-se a seu criador, Benoit Mandelbrot. Mandelbrot é considerado o pai dos Fractais, mas há quem afirme que o descobrimento deste se remonta à matemática clássica e os matemáticos do passado como George Cantor (1872), Giuseppe Peano (1890), David Hilbert (1891), Helge von Koch (1904), Waclaw Sierpinski (1916), Gaston Julia (1918), Felix Hausdorff (1919), assim como exemplos mais recentes como o de Gutenberg -

---

<sup>10</sup> MANDELBROT, Benoit B.. **Objetos Fractais**. Lisboa: Gradiva, 1991.

Richter (1954): para as frequências de magnitude estatística de terremotos, onde se sabe que esta conexão é equivalente a uma relação fractal entre o número de terremotos e o tamanho característico de ruptura. Embora seja Mandelbrot quem se preocupou em definir os alcances dos fractais em nível conceitual como uma nova percepção ou nova geometria da natureza (TURCOTTE, 1992; PIETGEN *et al.*, 1993).

Mandelbrot pesquisou em áreas da matemática que foram, por muitos anos, questionadas, pois a abordagem fugia do formalismo imposto nessa época. Sua pesquisa se inicia quando começa a tentar definir os ciclos nos preços de mercado; logo, começaria a trabalhar com a distribuição lexicográfica das palavras.

O interessante do trabalho com os preços de mercado, era que os economistas pensavam que a mudança de um preço a outro se dava de forma contínua, mas na realidade poderiam existir grandes saltos de um a outro, rompendo com a idealizada continuidade, o que acontece na natureza como aponta Gleick (1990) onde as tendências são reais, podendo desaparecer tão rapidamente quanto surgem.

Mandelbrot (1991) sustentaria estas variações com sua abordagem do *efeito Noé e José*, em pesquisas feitas sobre as variações no nível da água na bacia do rio Nilo, no qual o *efeito Noé* se refere a continuidade, enquanto o *efeito José* fala sobre persistência. Depois de uma longa permanência na França, onde morou devido à Segunda Guerra Mundial, e onde teve muita oposição pela Bourbaki (*grupo de matemáticos que se aprimoravam no rigor da demonstração matemática*), foi morar nos Estados Unidos da América do Norte, onde trabalhou no núcleo de pesquisa da IBM. Neste centro, ele começou a pesquisar um problema colocado pelos engenheiros do departamento, o ruído existente nas linhas telefônicas dos sistemas, definindo o "ruído" como as inevitáveis e numerosas flutuações espontâneas, no qual toda linha de transmissão, por ser um objeto físico, tem uma quantidade física que é afetada (MANDELBROT, 1991). Na busca de determinar uma razão, descobriu que em períodos de um dia, existiam períodos de erros, mas outros sem eles. Ao fazer o mesmo em uma hora, logo em um minuto, descobriu que sempre existiriam períodos sem erros dentro de todo período de erros. Assim, para ele era difícil achar um período onde os erros estivessem dispersos continuamente. Determinando que não importara a magnitude de tempo sempre existiria uma proporção constante entre os períodos livres de erro daqueles com erro, assim como a existência de uma relação geométrica. Foi a partir desse problema, que ele fez uma reconstrução abstrata da teoria dos conjuntos de Cantor. A solução adotada para este problema, foi a de usar um sinal modesto, pois os ruídos eram inevitáveis, e mediante a redundância tentar descobri-los para serem corrigidos (GLEICK, 1990).

Fazer reconstruções ou reproduções de uma determinada estrutura, de modo que permitam estudá-las e ver seus comportamentos, é como querer ter uma máquina copidora que gera a figura desejada, só que existe um problema, que nem sempre é fácil projetar a máquina para a imagem dada (PIETGEN *et al.*, 1993). Esta dificuldade se vê refletida na complexidade descritiva dos fatos, de forma simples, adicionado às limitações do equipamento. Esta idéia é corroborada com o questionamento que Mandelbrot (1991) faz sobre as poucas técnicas matemáticas para tratar a variedade de fenômenos naturais, quando fala sobre os sistemas "escalantes", sobre o estudo da física dos "pontos críticos" (exemplo mais conhecido é da coexistência simultânea dos estados sólido, líquido e gasoso, de um mesmo corpo). Isto por que o desenvolvimento analítico destes pontos, foi feito sem considerar a noção geometria de *homotetia*<sup>11</sup> interna, porém considerando-a de forma analógica.

Já as aproximações matemáticas na reprodução dos fenômenos naturais usam o "acaso" como o único modelo que pretende conhecer tudo o que é desconhecido e incontrolável, sendo uma ferramenta sumamente poderosa. A homotetia interna dos objetos faz com que o acaso tenha a mesma importância em todas as escalas, o que tira o sentido de falar de níveis microscópicos e macroscópicos. A existência do acaso numa construção aleatória é quase inevitável (MANDELBROT, 1991).

Como foi colocado, a turbulência é uma fonte ampla, geradora de fractais, desde seus inícios, sendo que no momento em que se dá análise à geometria dimensional, esta vira um protótipo de fenômeno fractal. Vista a turbulência em suas aplicações mais básicas, é trabalhada nos fluidos, por isso se pensa que as esteiras deixadas pelos barcos ao cortar as águas, têm uma forma fractal, mais ainda, se tivessem a mesma dimensão fractal fariam com que o problema fosse mais preciso e simples. Esta presença não só pode ser vista na água, como também nas nuvens geradas por erupções de vulcões e na nuvem em forma de cogumelo gerada por uma explosão nuclear (MANDELBROT, 1991). Existem mais formas geradoras de fractais como as fronteiras das bacias de atração, as quais constituem conjuntos fractais. Como veremos mais na frente, a turbulência proporcionou um dos conceitos base dos fractais, o de auto-similaridade (MANDELBROT, 1983).

Como a questão matemática não é prioritária neste trabalho, se deixará de lado toda formulação e demonstração que está por atrás dos conceitos apresentados, resgatando a

---

<sup>11</sup> A *homotetia* é definida como uma propriedade das figuras semelhantes e semelhantemente dispostas, que tendo pontos correspondentes, são ligadas por segmentos de retas que tem um ponto em comum que as divide numa razão constante (FERREIRA, 1988). Também, existe a dimensão de homotetia nos objetos fractais, que assume um valor inteiro quando é considerado anormal, sendo superior à dimensão topológica. Mandelbrot (1991) considera como regra fundamental a preservação da homotetia interna.

transcendência dos conceitos e propostas dos diversos autores.

### 3.1.1. O Conjunto de Cantor

O matemático de origem alemã - Cantor (1845-1918), é considerado o pioneiro dos conjuntos e da *topologia*<sup>12</sup> e seu nome domina a pré-história fractal.

O conjunto de Cantor é muito importante. Infelizmente a sua representação visual fica longe de uma interpretação natural como outros. Sendo assim, faz um papel importante num dos ramos da matemática como os sistemas dinâmicos caóticos, e é visto com o esqueleto base por trás de muitos outros fractais (PIETGEN *et al.*, 1993).

A construção do conjunto de Cantor é simples e parte de um segmento de reta, compreendido entre os valores de 0 a 1 (  $[0,1]$  ) - *figura 3.1*. Começa por retirar o terço médio, resultando em dois segmentos de extensão  $1/3$ . Logo, é retirado o terço médio destes dois segmentos, ficando quatro segmentos com extensão de  $1/9$ . O processo é repetido indefinidamente, com tendência para o infinito, chegando a um ponto onde o resultado final é uma sucessão de pontos mais conhecida como a “poeira de Cantor”. Uma característica importante deste conjunto é que é totalmente desvinculado (DEVANEY, 1990).



**Figura 3.1** O Conjunto de Cantor (PIETGEN *et al.*, 1992).

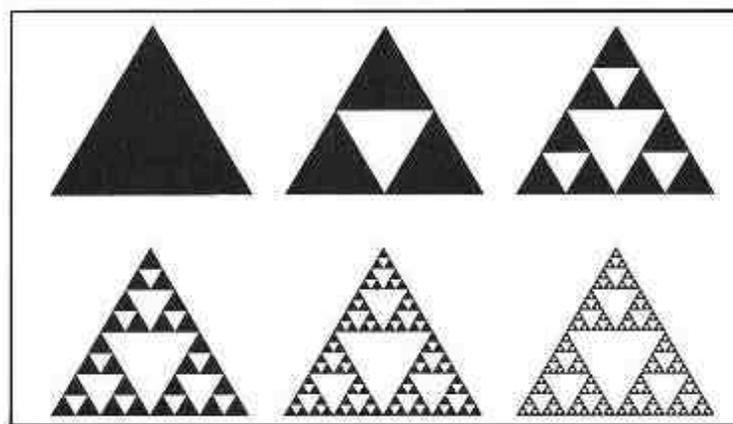
### 3.1.2. A Gaxeta e Tapete de Sierpinski

O seguinte modelo clássico dos fractais é introduzido pelo matemático polonês Waclaw Sierpinski (1882-1969), um dos mais influentes matemáticos da Polônia na sua época. A sua importância é tal que uma das crateras da Lua foi batizada com seu nome.

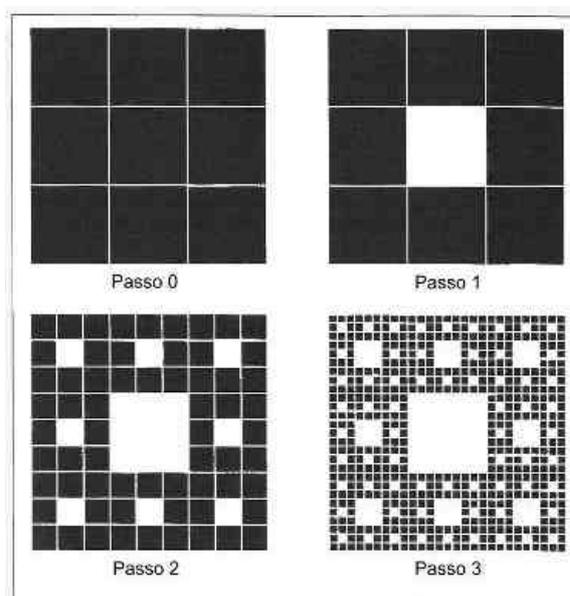
A construção geométrica básica da proposta de Sierpinski começa com um triângulo cheio, no plano. Depois tomando os pontos meios de cada lado e unindo-os se formam

<sup>12</sup> A topologia se refere ao estudo das propriedades que permanecem invariantes nas transformações biunívocas e bicontínuas (FERREIRA, 1988), trabalha com questões de formas e silhuetas desde o ponto de vista qualitativo. A Topologia tem propriedades invariáveis sob a influência de espaços metricamente equivalentes: abertura (*openness*), proximidade (*closeness*), limitado (*boundedness*), integridade (*completeness*), solidez (*compactness*), perfeição (*perfection*) e dimensão fractal (BARNESLEY, 1988).

quatro triângulos congruentes dos quais se retira o do meio. Depois deste primeiro passo tem-se três triângulos congruentes cujos lados são a metade do triângulo original e que se tocam em três pontos que são vértices comuns de dois triângulos contíguos. O processo se repete nos novos triângulos gerados, processo repetido indefinidamente, gerando 3, 9, 27, 81, 243, ... triângulos (*figura 3.2*).



**Figura 3.2** A construção básica da Gaxeta de Sierpinski (PIETGEN *et al.*, 1992).



**Figura 3.3** A construção básica do Tapete de Sierpinski (PIETGEN *et al.*, 1992).

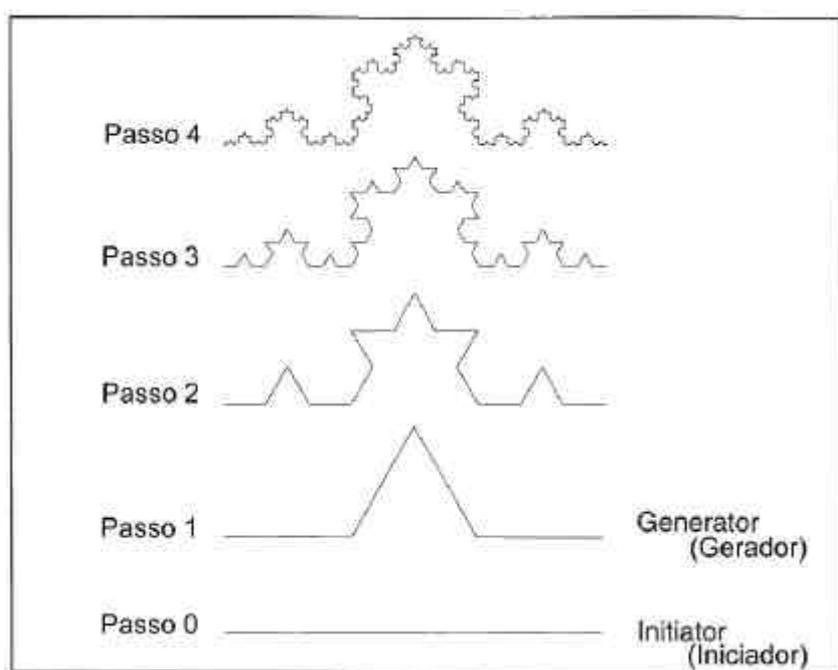
Outro objeto adicionado à ampla galeria do mundo fractal é o tapete de Sierpinski. A construção é feita partindo de um quadrado no plano, o qual é dividido em nove pequenos e congruentes quadrados, após tirando o quadrado do centro (*figura 3.3*). Se este processo é repetido indefinidamente, nos traz à memória uma generalização do *Conjunto de Cantor*. Esta aproximação pode ser percebida ao se traçar uma linha paralela à base que passa pelo centro.

### 3.1.3. A Curva de Koch

Helge Von Koch foi um matemático sueco, criador, no ano de 1904, do que é chamada a *Curva de Koch*. Unindo, pelos extremos, três cópias das *curvas de Koch* é gerada uma nova figura, chamada de *Curva do Floco de Neve* ou a *Ilha de Koch*.

A trajetória matemática de Koch não é tão transcendente como a de Cantor, Peano, Sierpinski, entre outros, porém sua curva é importante, pois a sua construção serve para uma generalização interessante, fora o fato de ter sido altamente inspiradora para o trabalho de Mandelbrot.

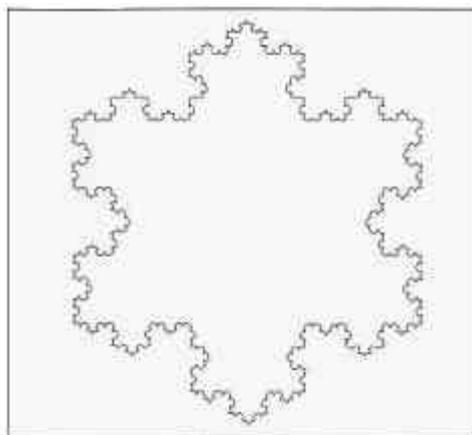
A natureza desta curva é bem distinta das construções de Cantor e Sierpinski. Sendo uma curva, não é apreciada claramente desde seu início. Esta curva não contém retas as quais poderiam ser consideradas como linhas delicadamente inclinadas. Esta curva tem muito da complexidade observada na natureza do litoral, dobradiça dentro de dobradiça, dentro de dobradiça e assim por diante (PIETGEN *et al.*, 1992).



**Figura 3.4** A construção da Curva de Koch em etapas. Em cada passo o número de segmentos é incrementado por um fator 4 (PIETGEN *et al.*, 1992).

A construção começa com uma simples linha reta, que é chamada de *iniciador*, onde seu terço médio é trocado por um triângulo equilátero do qual é retirado o segmento de sua base. A construção obtida, constituída por quatro segmentos, será copiada e reduzida, para ser reusada, sendo chamada de *gerador*. O processo é repetido várias vezes, ou seja, pegar o terço médio de cada novo segmento gerado e trocá-lo por um triângulo equilátero sem

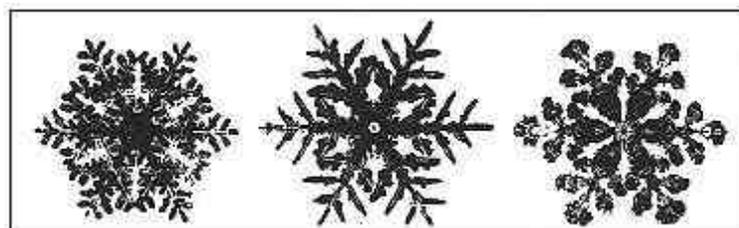
base. Outra forma de entendê-lo seria pela troca de cada novo segmento gerado, pelo *gerador* (**figura 3.4**).



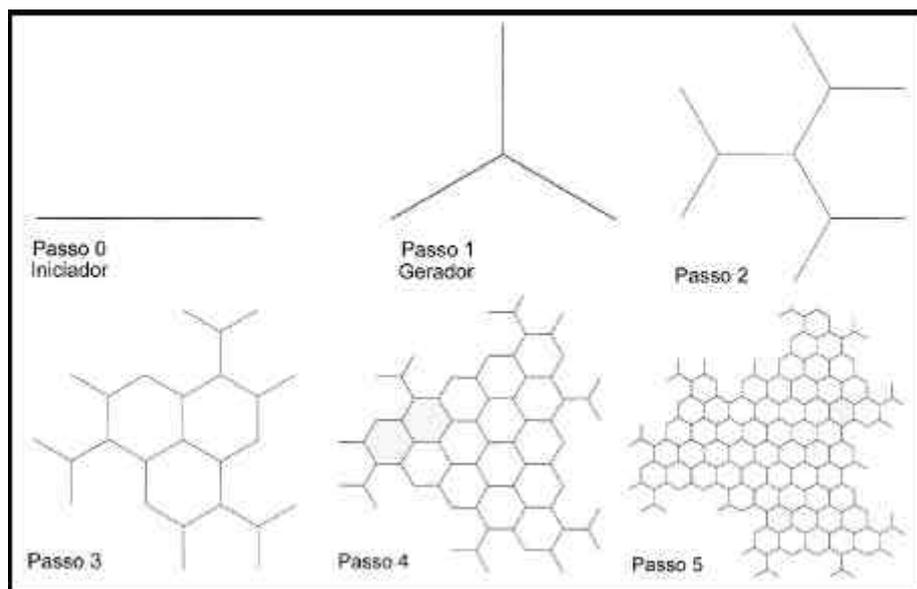
**Figura 3.5** A construção do floco de neve de Koch composto de três curvas congruentes da *figura 3.4* (PIETGEN, JÜRGENS *et al.*, 1992).

Como forma de generalizar esta elaboração visando uma universalidade de estruturas auto-similares, a construção de Koch pode ser definida, considerando um *iniciador*, visto como uma coleção de segmentos de linha, e um *gerador*, sendo uma linha poligonal, a qual é formada por um número de segmentos de linha ligados. O processo se inicia com o *iniciador*, no qual cada segmento de linha deste, é trocado pelo *gerador*, na escala apropriada. Esta atividade é executada segundo as limitações do equipamento (PIETGEN *et al.*, 1993).

Uma peculiaridade desta curva é que à medida que vai crescendo, incrementado o número de segmentos, nunca chega a ter uma interseção entre suas partes. Gleick (1990) coloca que a curva de Von Koch refletia uma sensação (neste caso extensão) infinita, dentro de um espaço finito.



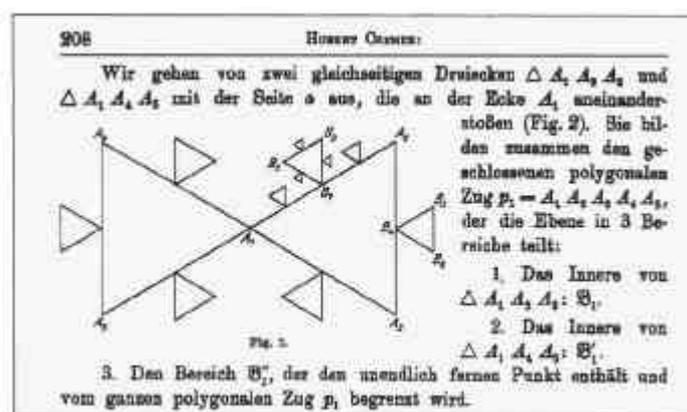
**Figura 3.6** Alguns flocos naturais, o que mostra a similaridade do Floco de Neve de Koch com os flocos reais (PIETGEN *et al.*, 1992).



**Figura 3.7** Outra construção de Koch. A escolha de outro iniciador e gerador dão outro fractal com auto-similaridade (PIETGEN *et al.*, 1992).

### 3.1.4. O Conjunto de Julia

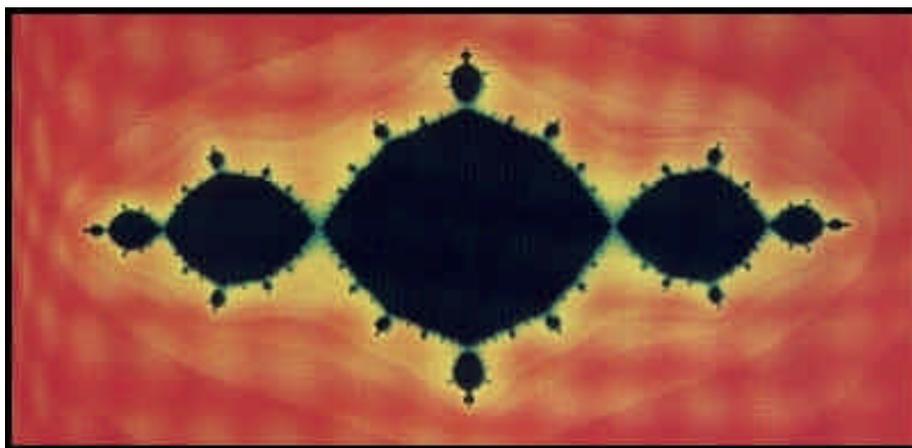
O matemático francês Gaston Julia (1893-1978), apesar de seu reconhecimento, no mundo da matemática só será lembrado na pesquisa de Mandelbrot, no final da década de 70. Mandelbrot considerou o trabalho de Julia como um dos mais belos fractais conhecidos na atualidade. Porém, teve-se que esperar por uma tecnologia apropriada (computador) para apreciá-lo totalmente.



**Figura 3.8** Primeira visualização do Conjunto de Julia por Cremona em 1925, sem uso de computador (PIETGEN *et al.*, 1992).

A partir da definição de Pietgen *et al.* (1992), o **Conjunto de Julia** (figura 3.9) reside no plano dos complexos, sendo importante para o estudo da iteração de polinômios como  $x^2 + c$ , ou  $x^3 + c$ , etc. Polinômios nos quais  $c$  é constante e os valores para  $x$  são obtidos de

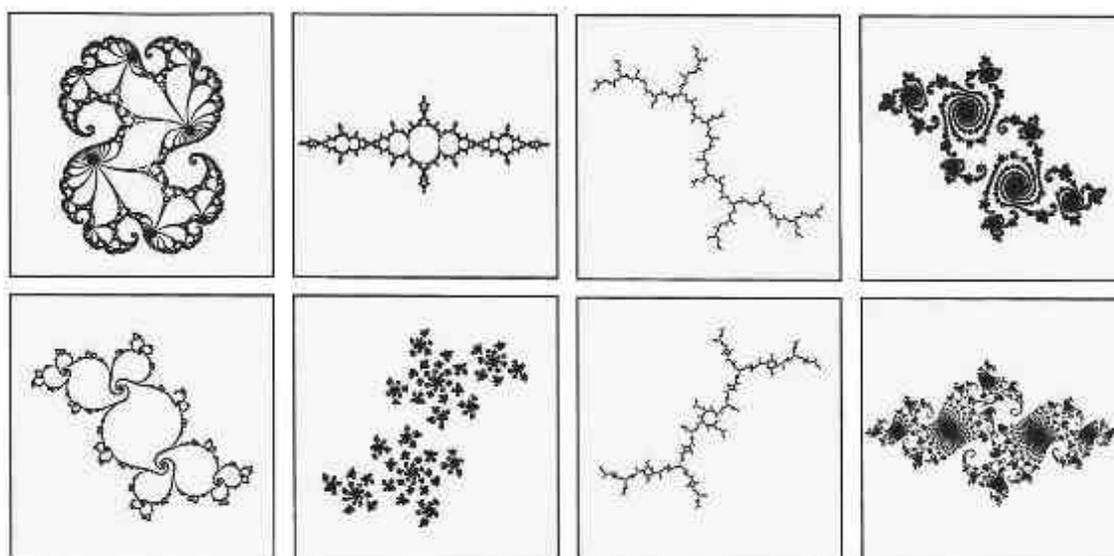
uma retroalimentação destes a partir do valor previamente gerado.



**Figura 3.9** Conjunto de Julia, com uso de computador (DEVANEY, 1990).

O resultado obtido desta interação recursiva define dois conjuntos não vazios chamados de: conjunto de fuga para  $c$  e conjunto prisioneiro para  $c$ .

Os dois conjuntos apresentados são complementares entre eles e cobrem grande parte do plano dos complexos, sendo a fronteira de um a do outro, isto é o Conjunto de Julia para um valor  $c$  e  $x^2 + c$ . Ou como colocaria Devaney (1990), o Conjunto de Julia é a fronteira entre a região dos pontos que estão na bacia de atração e a dos pontos que fogem. Já Mandelbrot (1991) chama essas fronteiras de "conjuntos repulsivos", verificando que, no caso típico, essas fronteiras das bacias de atração são curvas ou superfícies fractais. Dentro das diversas características deste conjunto, Serra e Karas (1997) colocam que se trata de um conjunto compacto, não vazio e que não têm pontos isolados.



**Figura 3.10** Exemplos do Conjunto de Julia (PIETGEN *et al.*, 1992).

### 3.2. SERÁ QUE PODE EXISTIR UMA NOVA GEOMETRIA?

“Sua crença obsessiva na geometria como o dialeto comum entre a mente humana e a divina. Esse é um tema que ainda hoje tem um papel muito importante na criatividade científica, embora «Deus» seja em geral substituído por «Natureza».” Kepler (pp. 133, GLEISER, 1998)

Kepler enfatizava mais na mudança do alvo da conversa com o homem, de Deus para Natureza, onde se vê refletida a importância da geometria como a linguagem, por excelência, que permitiria uma maior compreensão dos fatos naturais por parte do ser humano. Entre as vantagens da geometria, Mandelbrot (1991) menciona que esta é mais simples sobre uma reta que sobre um plano ou espaço, colocação que leva a ter uma postura menos complicada na sua utilização.

A geometria data da Grécia Antiga e entre seus precursores, estão exponentes como Euclides, sendo, atualmente, a *geometria euclidiana* a mais utilizada. Esta geometria, que será chamada de *clássica*, tem como singularidades padronizadas os conjuntos euclidianos padronizados, pontos, curvas e superfícies (MANDELBROT, 1983).

Constata-se que, atualmente, os métodos tradicionais de análise dos dados experimentais são baseados na geometria euclidiana e nas funções elementares como seno, cosseno e os polinômios. Não só esta geometria, como a trigonometria e cálculo levarão a pensar na modelagem das formas observadas na natureza em termos de linhas, círculos, parábolas e outras curvas simples (BARNSELY, 1988). No entanto, estas formas clássicas limitavam o estudo de diversas áreas (MANDELBROT, 1983).

Note-se, como seria complicado, e por que não dizer, praticamente inviável, fazer uma correta aproximação de modelagem de formas como das nuvens, ou de litorais, com as simples formas fornecidas pela geometria euclidiana. Não é uma tentativa de desmerecer esta geometria clássica, porém, Barnsley (1988) coloca que as raízes trigonométricas e racionais têm origem nesta geometria, sendo que ao ampliá-las parecem várias retas de dimensão fractal igual a 1. Sendo usadas não só pelo conteúdo geométrico, senão porque podem ser expressas por fórmulas simples, simplificando o fluxo de conhecimentos no trabalho científico, em uma linguagem comum. Além da necessidade de novas fontes e ferramentas, que possibilitem certas pesquisas, existe a inquietude pelo nascimento de uma nova era geométrica.

Uma característica diferencial na hora de propor a necessidade de uma nova abordagem geométrica aparece no conceito de dimensão, que será amplamente explicado posteriormente. Porque os fractais trazem consigo sua definição própria de dimensão.

Mandelbrot (1991) apresenta a existência de objetos espaciais com dimensão fractal 1, que não precisam ser retas, curvas retificáveis ou estar todo conectado.

Já Steinhaus (MANDELBROT, 1991), em 1954, refere-se a errada crença de que os arcos não retificáveis são invenção da matemática e que os arcos retificáveis são gerados pela natureza, esclarecendo que o certo é a afirmação contrária. Isto deixa claro que as criações matemáticas podem ser alteradas para chegarem a uma aproximação mais certa do resultado, através de ajustes. Mas quando são tratadas, não existe essa possibilidade, pois o que refletirão seria uma grossa aproximação da realidade, gerando resultados inaplicáveis na realidade. Daqui é que se percebe a necessidade de se aproximar mais os fatos tais quais se apresentam, tentando modificá-los o mínimo na abstração teórica. Desta maneira a geometria fractal visa estudar diversos objetos, tanto matemáticos como naturais, os quais não são regulares, porém rugosos, porosos, ou fragmentados, sendo assim no mesmo grau ao longo de todas as escalas (MANDELBROT, 1991).

### 3.3. O NOVO MUNDO FRACTAL

Muitos dos problemas a serem resolvidos implicam na utilização da matemática como fonte de modelagem, para o que existem dois caminhos: o matematicamente possível, e o do ponto de vista da compreensão da natureza, como assinala Gleick (1990). Este último é pouco explorado pelas próprias limitações de nossa bagagem ferramental. A validade deste segundo caminho, como uma opção viável, é esclarecida por Pietgen *et al.* (1993), ao responder à pergunta: a complexidade das formas que apreciamos na natureza é o resultado de similares e complicados processos? Isto é verdade em vários casos, mas, também, do longamente usado paradigma: “A complexidade das estruturas é o resultado do entrelaçado complicado de processos”, o que está longe de ser uma verdade geral.

Um dos maiores impactos da geometria fractal e o da teoria do caos, que, na presença de padrões complexos é grande a possibilidade de que os responsáveis sejam processos simples. Isto explica a colocação de Otto Rössler (*apud* GLEICK, 1990) ao dizer que a natureza, contra sua própria vontade, termina fazendo coisas que, emaranhando-se, terminam produzindo beleza inimaginável. Desta forma tem-se que a disposição complexa, das coisas simples são as que produzem as supostas complicações percebidas.

Uma das ferramentas empregadas em todas as ciências exatas, nesta tentativa reprodutiva de um fenômeno através da modelagem, na qual se emprega um processo simples, é a **retroalimentação** (*feedback*).

As primeiras noções de retroalimentação foram introduzidas por Isaac Newton e

Gottfried W. Leibniz, 300 anos atrás, na forma de leis dinâmicas, amplamente usadas como procedimento padronizado para modelar os fenômenos naturais. Essas leis determinam, por exemplo, a posição de uma partícula em um determinado tempo para sua avaliação no instante precedente (PIETGEN *et al.*, 1993). Porém, a análise feita em um instante não define o que acontece em um sistema dinâmico real, pela constante variação dos dados, embora a avaliação instantânea forneça muitas aproximações válidas para sistemas sob condições certamente ideais, ou seja, modelos altamente deterministas, nos quais tudo é monitorado. Seria absurdo contradizer as proezas feitas pela ciência, quanto a sua tentativa de aproximação de solução de problemas.

Na linha de pensamento da retroalimentação empregada para entender a evolução dinâmica de sistemas simples, direcionado às complexas estruturas, Mandelbrot (*apud* GLEICK, 1990) acrescenta a existência, em um nível escalar, de uma ligação e familiaridade das variações grandes e pequenas.

As delimitações procuradas para a resolução dos problemas reais leva a considerar a proposta fractal, em concordância com Gleick (1991). Fractal inicialmente poderia ser definido como uma linha infinitamente longa numa área finita, dando a entender a sua grandeza sem a necessidade de extrapolar nos limites, tudo em um pacote fechado, que interage como o meio onde habita.

Também não é labor fácil colocar as limitações desta abordagem, pela ampla aplicação nas diversas áreas e sua desconhecida abrangência de uso. Já Mandelbrot (1991) faz menção do uso incorreto das noções fractais ao não adotar o ponto de vista geométrico, o qual gerou numerosas confusões, determinando a importância de levar sempre a geometria no espírito. Por outro lado, completa, ao referir-se às escolhas feitas pela geometria fractal:

“A geometria fractal é caracterizada por duas escolhas: a escolha de problemas no seio do caos da natureza, uma vez que descrever todo o caos seria uma ambição sem esperança e sem interesse, e a escolha de ferramentas no seio das matemáticas, pois procurar aplicações das matemáticas pelo simples facto de serem belas acabou sempre por dar dissabores.

Depois de progressivamente amadurecidas, estas duas escolhas criaram algo de novo: entre o domínio do caos desregulado e a ordem excessiva de Euclides existe agora a nova zona da ordem fractal.” (pp. 18, MANDELBROT, 1991)<sup>13</sup>

Desta forma, a geometria fractal ajuda aos cientistas a estudar a maneira pela qual os

---

<sup>13</sup> MANDELBROT, Benoit B.. **Objetos Fractais**. Lisboa: Gradiva, 1991.

coisas se fundem, separam ou fragmentam (GLEICK, 1990). A geometria fractal também se encarrega de estudar subgrupos complicados de espaços geometricamente simples. Já a geometria fractal determinista tem como alvo o estudo dos subgrupos de espaço que são gerados por, ou possuem propriedades invariáveis sob transformações geométricas simples do espaço dentro de si mesmo (BARNESLEY, 1988).

### 3.3.1. Os fundamentos da escala e a auto-similaridade

Já reparou o que acontece quando você pede a outra pessoa para fazer uma apreciação descritiva de um determinado ser vivo ou objeto inanimado? As descrições feitas pelas pessoas sobre o que elas percebem nem sempre são exatamente a totalidade do que realmente existe nesse alvo selecionado. Mais ainda, se a descrição solicitada refere-se a uma paisagem, onde os elementos constituintes estão distantes. Uma maior aproximação às formas vai definindo o objeto observado na sua verdadeira e intrínseca estruturação real. Porém, nem sempre será possível apreciar a totalidade, já que a infinidade dos elementos constituindo a matéria que os conforma têm subestruturas, das quais só é conhecido o que é permitido pelos meios disponíveis no instante da observação.

De forma ilustrativa se pode tentar fazer uma descrição do que se enxerga da parte superior de um morro, inicialmente se diria que só tem uma pequena camada de grama, ou de terra, plana e limpa como toalha de mesa. Após uma aproximação começa-se a perceber que não é isso o que conforma este cume uniforme do morro, e sim pequenas estruturas que tem broto ou elementos que vão dando uma textura, rica em formas e cores. Finalmente, com observação feita *in situ*, descobre-se a existência de uma superfície altamente irregular conformada por mata, árvores, pedras etc., as quais constituem um conjunto harmonioso que observado de longe passa a ser uma unidade.

O tema de fluidos, altamente comentado nesta pesquisa, fornecerá uma noção mais adequada do tema, para o qual usa-se a *transformação de Baker* (McCAULEY, 1993), sendo um dos poucos casos de *dimensão fractal 2*. O processo consiste na inserção de uma bola de tinta (entende-se também como cubo) num copo contendo água, após mexer, a mistura aprecia-se através de fios cada vez mais finos, chegando ao ponto onde a mistura parece uniforme, pois a resolução faz ver isso, mas se a resolução é incrementada aparecerão os fios. Após mexer novamente, aparentemente os fios desaparecerão, porém, a cada ampliação serão detectados os fios. Este processo pode seguir infinitamente.

Desta maneira está sendo percebida a existência das formas através das ampliações feitas. Também é colocada a aparente inexistência da homogeneidade, pois é uma

característica muito particular e diretamente relacionada com uma determinada *escala*<sup>14</sup>.

Como a escala depende de um padrão, este não é um absolutismo constante, esclarecido por Mandelbrot (1983) ao dizer que o número de distintas escalas de extensão de padrões naturais é para todo propósito prático infinito.

Gleick (1990) aponta que todas as escalas têm padrões semelhantes, porém diferentes, o que quer dizer que todos mantêm um padrão que não garante que sejam iguais no entanto possam ser semelhantes.

O estudo das leis de escalas fez reconhecer a Mandelbrot (1983) que o comportamento limite central não padronizado é em fato que faz parte da natureza, assim como esta simplesmente não exibe um alto grau porém diferentes níveis de complexidade. Fecha a idéia com o pensamento de Tennyson ao falar da infinidade em estratos, na qual a descreve como *infinidade interna* em qualquer parte e unicamente possível na Natureza.

Existem vários campos de conhecimento nos quais o uso da escala é importante, por exemplo a Geologia. Nesta área de estudo realizam-se, entre outras coisas, o uso de fotografia aérea para traçar mapas. Algo pouco percebido, em comum é a importância da escala referencial para a construção deste mapa geológico. Por exemplo, se a fotografia é tomada de uma altura de 1 km, e logo outra, da mesma região, só que de uma altura maior, sejam 10 km. Se não existisse um elemento comum de medição entre estas duas, a primeira vista, seriam praticamente similares, talvez sem a presença de certos detalhes, até pareceriam iguais. Por isto é importante a inclusão de um objeto de referência que defina a escala, podendo ser uma pessoa, casa, veículo etc., pois através deste elemento, se poderá estabelecer as corretas variações da escala de uma fotografia para outra. Além desta semelhança entre as duas fotografias percebe-se a existência de um mecanismo responsável por gerar essas similitudes.

É interessante como esta presença da escala pode ser tão importante, mas não pode ser deixada de lado uma ferramenta útil para sua execução, a *medição*. A medição pode ser amplamente dependente da escala e convenção adotadas (*figura 3.11*).

Já Barnsley (1988), Turcotte (1992) e McCauley (1993) enfatizam a importância da escala a ser usada na medição, pois dela dependerá a extensão obtida, por exemplo: se medido o litoral de uma ilha, tem-se que, a extensão do litoral aumenta enquanto a escala

---

<sup>14</sup> A palavra *escala* (do latim *scala*, que quer dizer escada) pode ser entendida a partir da existência de um padrão de medição, com o qual se faz a graduação através da medição da variação de uma grandeza.

De outro lado uma palavra derivada de escala é *escalar*, que se refere ao campo que compreende o espaço de distribuição de uma grandeza escalar, na qual a grandeza é qualquer entidade plausível de ser medida ou dimensionada, assim como a expressão através de um valor numérico de uma grandeza, seja dimensão ou não, definições para a área física e matemática.

diminui, logicamente seguindo uma lei que a sustente.

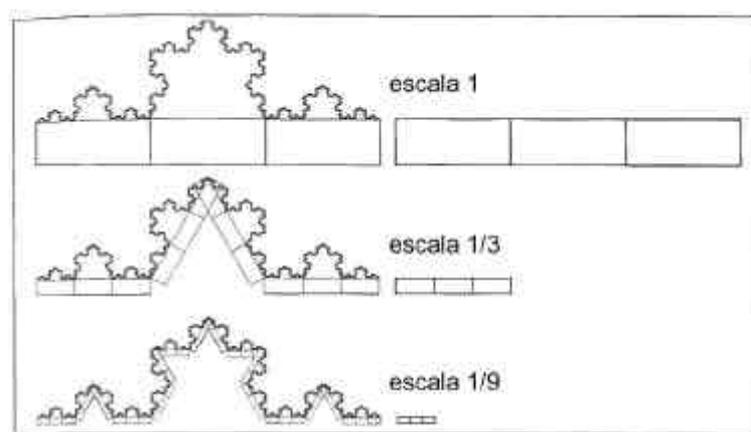


Figura 3.11 Dimensionando a Curva de Koch (PIETGEN *et al.*, 1993).

Como já foi mencionado a **topologia** (*definida em 3.1.1*), como investigadora das invariâncias através das transformações, é também usualmente chamada por Mandelbrot (1983) como a **geometria de situação** ou **análise situs**<sup>15</sup>. Duas de suas noções básicas são **dimensão** e **homeomorfismo**<sup>16</sup>.

Nas palavras de Barnsley (1988), se um subgrupo de espaço métrico possui uma destas propriedades, e o espaço é deformado com distorção nas fronteiras, então o subgrupo correspondente no espaço deformado detém a mesma propriedade. Também trata como as formas podem ser puxadas e distorcidas em um espaço que se comporta como uma borracha.

É assim que na topologia, uma linha que pode ser levada a uma curva e um círculo, poderia ser esticada para conformar um triângulo ou puxada para conformar um quadrado (*figura 3.12*).

Assim tem-se como exemplo que o litoral de uma ilha é igual a um círculo, mas nem tudo pode ser topologicamente mudado.

A esta altura, é conveniente recordar o princípio de *homotetia* (*definida em 3.1*) como propriedade das figuras semelhantes, uma vez que a topologia compartilha de certa forma, o princípio de homeomorfismo. Mandelbrot (1991), depois de fazer referência a homotetia interna de um litoral, colocando-a como auto-similaridade, diz que, de uma forma empírica, as distribuições ascendentes de cada ordem com seu imediato superior se

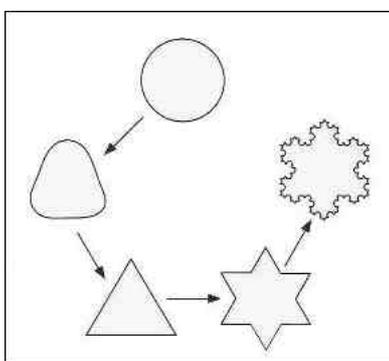
<sup>15</sup> Topos que significa posição, situação em grego.

<sup>16</sup> Barnsley (1988) coloca que o homeomorfismo é a relação equivalente para as propriedades topológicas; dois espaços que são homeomórficos são espaços topológicos idênticos, sendo que as propriedades de caráter topológico são invariáveis sob homeomorfismo.

percebem como idênticas desde um ponto de vista estatístico. E isto é possível de entender se for considerado um mesmo mecanismo, encarregado de gerar as sucessivas reproduções em todos os níveis, como se fosse uma cascata. Se tomada uma pequena seção de um conjunto (*entenda-se também como objeto*), a qual é redefinida em outra escala por um determinado número de vezes, e depois feita uma adequada translação, se consegue cobrir uma parte do conjunto original exatamente, então se está falando de *auto-similaridade*. A reproduzida na seção escolhida traz uma forte semelhança com a imagem original (DEVANEY, 1990).

Para se chegar a uma concretização dos conceitos descritos neste capítulo, torna-se importante conhecer como Mandelbrot os utiliza em seu trabalho com os fractais: “ (...) most fractals (...) are invariant under certain transformations of scale. They are called *scaling*. A fractal invariant under ordinary geometric similarity is called *self-similar*.” (pp. 18, MANDELBROT, 1983)<sup>17</sup>

É desta maneira que esta similaridade manifesta-se em todos os níveis da construção fractal, fazendo com que uma parte do fractal se assemelhe com outra maior ou com o fractal na sua totalidade (SERRA & KARAS, 1997). Como diria McCauley (1993), o que se entende por auto-similaridade geométrica, após ampliações, são cópias carbonadas do conjunto original.



**Figura 3.12** Círculo, quadrado e Floco de Neve de Koch, sendo deformados continuamente, mantêm sua equivalência topológica (PIETGEN *et al.*, 1993).

De outro lado, Baker e Gollub (1996), que também consideram a auto-similaridade como a característica invariável sob mudanças de escala, aponta que esta peculiaridade é válida para a maioria dos fractais, mas não para todos.

<sup>17</sup> “(...) muitos dos fractais (...) são invariáveis sob certas transformações de escala. São chamados de *escalares*. Um fractal invariante sob geometria de similaridade ordinária são chamados de *auto-similares*.” MANDELBROT, Benoit B.. **The Fractal Geometry of Nature**. New York W. H. Freeman and Company, 1983.

Outra consequência da auto-similaridade através das ampliações define a abordagem fractal como uma entidade de continuidade infinita, ou melhor, como objeto sem fim.

Serra e Karas (1997) definem três tipos de auto-similaridade:

a) Auto-similaridade *estrita*: na qual uma porção menor do fractal reproduz fielmente a forma de uma maior.

b) Auto-similaridade *estocástica*<sup>18</sup>: caracterizada estatisticamente.

c) *Auto-afinidade*: é um gênero mais amplo de auto-similaridade. Baseia-se na contração da figura em qualquer direção, seja de forma regular ou irregular. Pode-se chegar a gerar uma forma não identificável, mas conservará afinidade com a figura original.

Importante reconhecer que esta auto-similaridade não deve ser entendida como reprodução idêntica, mas como *auto-afinidade*, por mais que existam casos onde apareça.

Esta idéia leva a pensar sobre a presença da simetria, característica preservada e geral, presente na Natureza, porém não exclui a possibilidade da não *simetria*<sup>19</sup>.

Como se vê, a simetria, considerada como família da auto-similaridade, representa uma característica comum em fractais e Natureza, fazendo com que os fractais possam ser considerados como parte da Natureza.

Greenhill (*citado por Thompson no ano de 1961*), insere neste ponto a noção de elasticidade como oposta à semelhança geométrica. A idéia de similaridade elástica, é que a árvore limita sua altura total a uma porcentagem fixa do varejamento crítico da altura de um cilindro uniforme da mesma base carregado sob seu próprio peso. Já a compreensão do crescimento pulmonar tem como dado básico que o crescimento pré-natal do pulmão começa a partir de um botão, cresce dentro de um cano, que forma dois botões, tendo cada um deles o comportamento como no começo. Mais ainda, este crescimento é autosimilar (MANDELBROT, 1993).

Os autores concluem dizendo que figuras afins podem ser geradas por: contração,

---

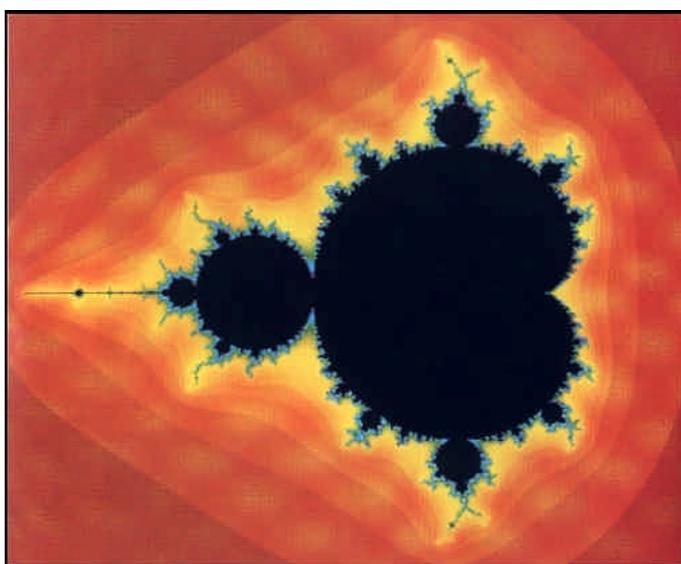
<sup>18</sup> "(...) os elementos de uma certa parte da figura enquadram-se em uma certa modalidade de distribuição estatística, com uma certa modalidade de distribuição estatística, com uma certa média e um certo desvio padrão. Uma subparte de parte considerada tem os seus elementos enquadrados na mesma distribuição, podendo acontecer que a média e o desvio padrão sejam afetados pelo fator de redução da parte original para a subparte." Pp. 10 SERRA, Celso Pentead; KARAS, Elizabeth Wegner. **Fractais - gerados por sistemas Dinâmicos Complexos**. Curitiba: Editora Universitária Champagnat, 1997.

<sup>19</sup> A simetria pode ser entendida com a reprodução idêntica de uma parte, a partir de um eixo (*aqui é colocado eixo porque nem sempre se cumpre em função de um plano*), que passa pelo meio dum objeto observado. Quer dizer como se a metade do objeto fosse colocado por cima de um espelho, observando-se, graças a adição da imagem refletida, como um objeto completo de duas metades iguais e opostas.

dilatação, translação, rotação, reflexão ou por combinações dessas transformações.

### 3.3.2. O Conjunto de Mandelbrot

O *Conjunto de Mandelbrot* (**figura 3.12**) é, com certeza, o mais popular fractal e provavelmente o mais popular dos objetos da matemática contemporânea, aclamado por algumas pessoas como o mais complexo objeto já visto. A aparição deste modelo foi possível graças ao uso do computador, sendo que sem ele, sua visualização não seria plausível. Este modelo fornece não apenas uma bela imagem, mas uma contrapartida no mundo matemático, e uma rápida visão do que os matemáticos chamam de antiestética da matemática.



**Figura 3.12** O Conjunto de Mandelbrot (DEVANEY, 1990).

Este conjunto pode ser entendido a partir das colocações feitas por Pietgen *et al.* (1993). Retomando o já visto na conformação do conjunto de Julia, define-se que para cada valor  $c$  da iteração  $z \mapsto z^2 + c$  a existência de um único conjunto de prisioneiro  $P_c$  e o correspondente conjunto de fuga  $F_c$ . Existe uma dicotomia estrutural, que condiciona para a qualquer escolha de  $c$  os associados conjunto de Julia  $J_c$  e o conjunto prisioneiro  $P_c$  sendo ambos:

- ➔ uma peça conectada matematicamente,
- ➔ ou um pó, matematicamente desconectado.

Desta maneira pode ser classificado, baseados nesta dicotomia, o livro infinito dos conjuntos de Julia em dois capítulos: o primeiro de todos aqueles conjuntos de Julia conectados e o segundo, de todos aqueles conjuntos de Julia totalmente desconectados.

Pelo ano de 1979, Mandelbrot teve a idéia de esboçar esta dicotomia dentro do conjunto de todos os parâmetros  $c$  variando no plano complexo  $C$ . Isto cai diretamente no *Conjunto de Mandelbrot*, que é definido como:

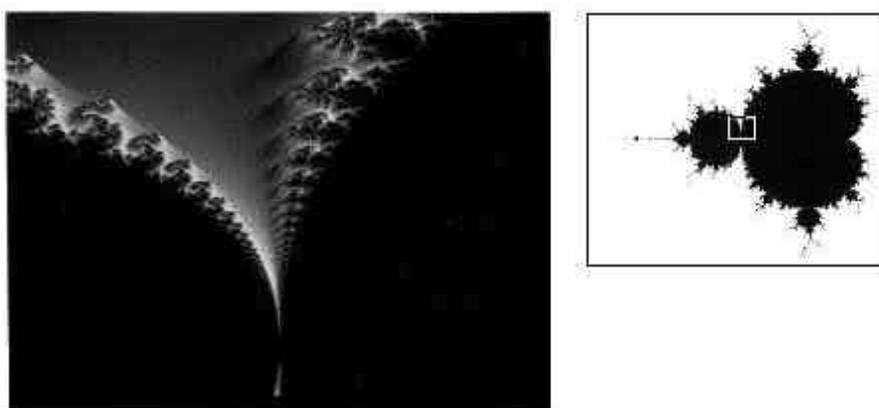
$$M = \{ c \in C / J_c \text{ é conectado} \}^{20} \quad (3.1)$$

Depois, por meio do computador que tinha disponível na época, e diferenciando os valores monocromaticamente, na sua representação gráfica: pretos, todos aqueles valores onde o Conjunto de Julia era conectado, e branco, onde o valor pertencia ao Conjunto de Julia desconectado.

A diferença clara da existência entre os conjuntos de Julia e Mandelbrot é colocada por Devaney (1990), na qual o mundo onde habita o conjunto de Mandelbrot é o plano  $c$ , enquanto o conjunto de Julia habita no plano  $z$ .

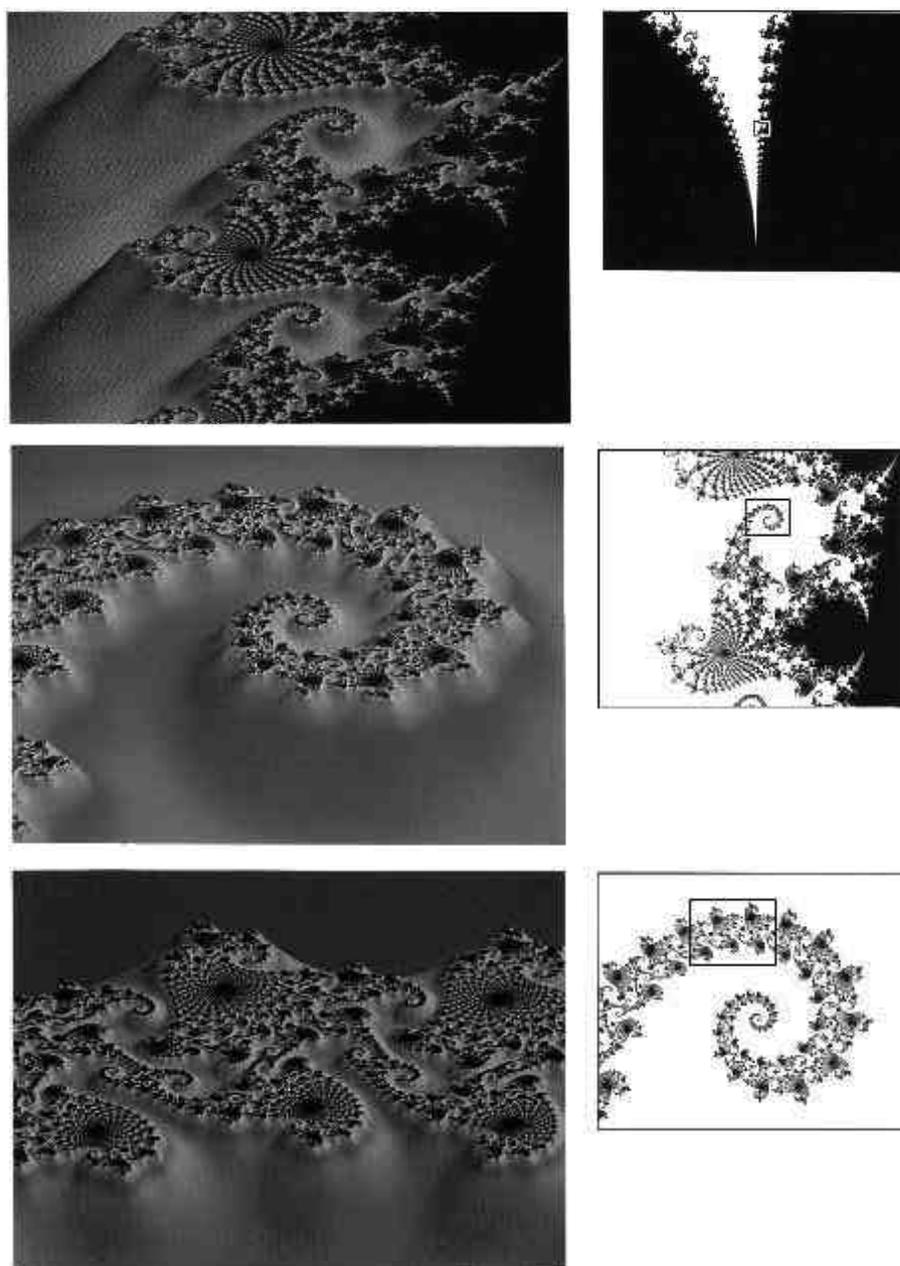
Uma peculiaridade do *Conjunto de Mandelbrot* é que parece ter ilhas desconectadas, mas, pesquisas feitas por Adrien Douady e Jonh Hubbard em 1982, demonstraram que existem fios finos, invisíveis à determinada resolução, que mantêm tudo conectado (DEVANEY, 1990).

Dentro das diversas características que definem este conjunto, Serra & Karas (1997) fazem menção, que observando os detalhes das dendrites dele, percebe-se a existência de versões pequenas do mesmo conjunto, o que é uma manifestação da auto-afinidade, ou como se queira entender de auto-similaridade, como uma característica de um fractal (*figuras 3.14, 3.15 e 3.16*). Assim eles colocam que outras características complementares de  $M$ , são um conjunto limitado, de fronteira correspondente a órbitas periódicas indiferentes, convexo e compacto.



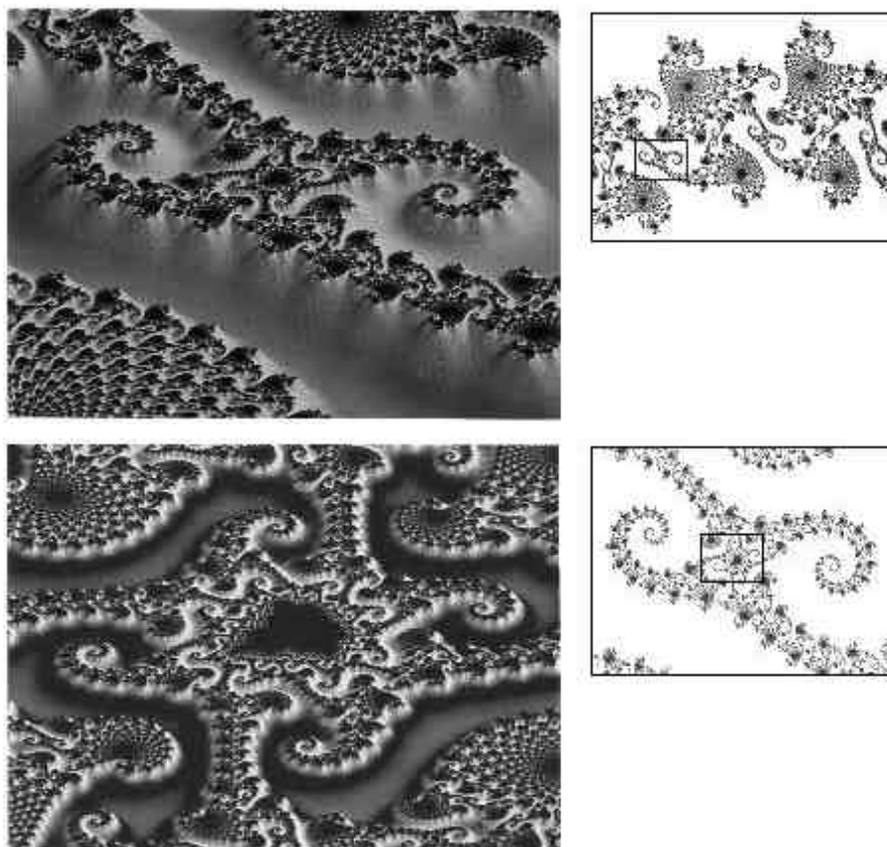
**Figura 3.14** Primeira ampliação 3D do Conjunto de Mandelbrot (PIETGEN *et al.*, 1992).

<sup>20</sup> O Conjunto de Mandelbrot está compreendido por todos os valores  $c$  pertencentes ao plano dos complexos  $C$  dado o Conjunto de Julia em  $c$  é conectado.



**Figura 3.15** Segunda, terceira e quarta ampliação 3D do Conjunto de Mandelbrot (PIETGEN *et al.*, 1992).

Uma definição feita pelo próprio Mandelbrot (1991), ao referir-se ao *Fractal Natural*, diz que ele é projetado como padrão natural, o qual é representado pelo *Conjunto Fractal*. O entendimento obtido deste ponto, é que ele tenta colocar a ligação entre o mundo matemático, representado por seu conjunto, na busca de definição de padrões naturais susceptíveis de serem representados através desta nova proposta.



**Figura 3.16** Quinta e sexta ampliações 3D do Conjunto de Mandelbrot, sendo a última ampliação de aproximadamente 0.000015 (PIETGEN *et al.*, 1993).

### 3.3.3. O que é uma Dimensão?

Muitas das atividades do ser humano dependem da medição e de valores que representem o mundo em torno dele, porém medir como e o quê? Qual seria a noção do que é uma dimensão? Duas perguntas muito vinculadas entre si. Existe a medição, mas também, seria importante definir uma das propriedades do tudo, a dimensão, que no final das contas vai ocupar um espaço, o qual não vai ser preenchido por outra, enquanto esta permaneça aí. Se responderá, de uma maneira básica, com a definição mais difundida, pois como será visto posteriormente, existe outra, a qual esta compreendida no mundo fractal.

Então, o que é entendido como dimensão, refere-se ao sentido em que se mede uma extensão para depois ser avaliada, mais ainda, como o número de variáveis necessárias a uma avaliação analítica de um objeto (Se bem que existam outras definições mais específicas no campo vectorial ou matricial, que não serão consideradas por não ser úteis no objetivo da pesquisa). Correto é afirmar, que não seria possível medir o que não existe, Mandelbrot (1991) define como *dimensão negativa* a medida quantitativa da “vacuidade”.

Na compreensão de dimensão nos fractais, Serra & Karas (1997) fazem menção a uma diferença de dimensão clara entre as figuras geométricas convencionais com as fractais, as quais possuem uma dimensão espacial não necessariamente igual à sua dimensão topológica.

Isto começa a despertar a curiosidade da existência de outras particularidades dos objetos fractais bem como dos objetos em geral, a *dimensão fractal*. Porém, seja adequado ver um pouco mais do que a topologia (*definida em 3.1.1*) tem a dizer, assim como a existência de outras tendências, fruto da incansável busca da matemática por novas definições.

Segundo Serra e Karas (1997), a *dimensão topológica* -  $D_T$  não depende nem da forma nem do tamanho da figura, e se exprime sempre como um número inteiro.

Mandelbrot (1983) explica através das curvas o que ele chama de dimensão topológica, dizendo que se em um arco standardizado como conjunto conectado, que virará um desconectado, se é retirado um ponto deste. E uma curva standardizado fechada, sendo um conjunto conectado, virarão dois arcos standardizados, se retirados dois pontos. Por esta causa se considera a proposta de Koch como uma curva.

Para a nova abordagem fractal, esta dimensão topológica, que forma parte da geometria euclidiana não é suficiente, pois como será visto, Mandelbrot (1983) faz uma colocação que diferencia os dois campos. A diferença da dimensão euclidiana e a fractal está em que, a primeira limita-se ao conjunto onde todas as dimensões úteis coincidem sendo chamada de *conjunto dimensional concordante*, enquanto a segunda falha na coincidência, sendo o *conjunto dimensional discordante*. Adicionalmente, a condição de igualdade topológica como garantia de semelhança no mundo fractal não é suficiente.

Um exemplo muito didático com uma bola de barbante, apresentará a variação da dimensão topológica -  $D_T$ , esclarecendo-se, que este tipo de dimensão é relativa ao ponto de observação. Como se sabe esta bola tem dimensão  $D_T = 3$  (*tridimensional*). Colocada a uma distância de 100 metros, será vista como um ponto, de dimensão  $D_T = 0$ . Se esta bola é observada a um metro volta para  $D_T = 3$ . Seguidamente, se observada a menos de 5 cm, ela virará uma sorte de fios trançados, passando a ter  $D_T = 1$  (*unidimensional*). Após uma maior ampliação, estes barbantes passarão a ser cilindros em vez de fios, sendo novamente de dimensão  $D_T = 3$ , e assim por diante. Visto isto, percebe-se as contínuas variações da dimensão topológica. A pesquisa feita por Mandelbrot (1983) parte do uso da dimensão de Hausdorff Besicovitch (a que ele usa para os fractais colocando-a como  $D$ ), sendo que para toda geometria euclidiana se cumpre que  $D_T = D$ , e acrescenta que  $D$  - *dimensão fractal*

excede estritamente a  $D_T$ . “Diz-se que dois espaços topológicos têm a mesma dimensão se entre os pontos de um e de outro existir uma correspondência contínua e unívoca.” (pp. 181, MANDELBROT, 1991) <sup>21</sup>

Uma dúvida pode ser colocada, por que não definir primeiro fractal para logo entender sua dimensão? A resposta é simples, como a dimensão fractal é uma característica dos fractais, é através dela que se pode fazer uma comparação com as dimensões já conhecidas. Perceber que ela propõe uma nova postura que vai estar diretamente relacionada com a definição da palavra fractal. Não há que esquecer que um objeto fractal, também, tem dimensão topológica.

Seja observada detidamente a *curva de Koch* (**figura 3.4 em 3.1.3**). Partindo da geometria euclidiana, se supõe que ela é uma curva e como tal deve ter uma dimensão  $D_T = 1$ , porém a suposição é incorreta. Este tipo de curva, se observada, tem um detalhamento em infinitas dobradiças, que se ampliadas, continuam aparecendo indefinidamente. Devido ao detalhamento dela, ocupa mais espaço que uma curva convencional mas sem chegar a ocupar o espaço de uma faixa que a contém. Desta maneira, determina-se que ela não poderia ter as dimensões  $D_T = 1$  quanto a  $D_T = 2$ .

Desta forma, há a necessidade da definição que contenha esta peculiar dimensão, que oscila entre os valores inteiros de 1 e 2, não restringindo-a a este parâmetro, que é só ilustrativo. Como só valor fracionário poderia estar entre dois valores inteiros, é necessário considerar um conceito antes mencionado, o fractal, então se diria que é uma valor pertencente a *dimensão fractal*. Segundo Turcotte (1992), a dimensão fractal refere-se a toda aquela forma, na integral, que pertenceria à Euclidiana, podendo ser entre 0 -1, 1 - 2, etc.. De outro lado, o conhecimento da dimensão fractal de um objeto não fornece a informação necessária de como é o objeto, apenas que há uma infinidade de linhas de dimensão topológica  $D_T = 1$ . Também se poderia pensar que toda dimensão fractal  $D$  tem que ser necessariamente não-inteira, o que nem sempre acontece.

Mandelbrot (1991) tenta esclarecer de uma forma direta as aplicações de quanto medir, para identificar aquilo que é realmente possível e útil de medir, pois é aqui onde a geometria fractal fornece um novo alfabeto, com as noções de dimensão fractal, seja em número finito ou infinito, de lacunaridade e as combinações de aspectos topológicos e fractais. Ele explica esta lacunaridade ao dizer que não existe uma ligação necessária entre conectividade e dimensão fracionária.

---

<sup>21</sup> MANDELBROT, Benoit B.. **Objetos Fractais**. Lisboa: Gradiva, 1991.

A definição matemática desta dimensão fractal  $D$ , está expressa pela seguinte fórmula:

$$D = \frac{\text{Log}(\text{número de peças})}{\text{Log}(\text{ampliação})} \quad (3.2)$$

Devaney (1990) acrescenta que esta dimensão não é aplicável a todos os fractais, pois há algumas figuras muito complexas e desconhecidas. Frøyland (1992) acrescenta que para os fractais complicados, considerados a partir da união de subgrupos de fractais infinitos, chamados de multifractais, possuem, cada um deles, sua própria dimensão, sendo de uma forma melhor caracterizados por uma continuidade de dimensões. Este tipo de dimensão também é útil para os atratores estranhos, que, possuindo tantas informações, quanto os fractais, têm muita informação geométrica, a qual com um simples número, seria praticamente impossível de apresentar os atratores (BAKER & GOLLUB, 1996).

Finalmente esta dimensão permitirá quantificar subjetivamente que tão densa é a ocupação dos fractais no espaço métrico onde se encontram, assim como um objetivo significado para a comparação entre fractais. A *dimensão fractal*<sup>22</sup> é importante porque pode ser definida em conexão com os dados do mundo real, sendo medida aproximadamente através das experiências, em outras palavras, fornece um parâmetro experimental de medida para caracterizar a qualidade do *Caos* (BARNSELEY, 1988).

### 3.3.4. Os Fractais

A abordagem feita até este ponto considera a *Natureza* como fonte única de informação, assim como a origem onde se encontram os problemas e questionamentos a serem resolvidos. Nesta fonte, coexistem, sem ser mutuamente excludentes, o determinismo estrito e o desenvolvimento aparentemente acidental, como regras naturais.

Segundo D'Arcy Thompson (*apud*, pp. 197, GLEICK, 1990) a *Natureza* opera sobre o produto final, pelo qual, a explicação da adaptabilidade é procurada na causa final, não na causa física. A *causa final* baseia-se na finalidade ou intenção, enquanto a *causa física* que é mecânica, é compreendida como a *causa eficiente*. É lógica esta divisão, pois coloca uma clara diferenciação entre uma, que seria o resultado, e a outra que seria a responsável por esse resultado.

A correlação existente entre *Caos* e geometria pode apresentar-se de qualquer forma,

---

<sup>22</sup> “Significado genérico: número que quantifica o grau de irregularidade e de fragmentação de um conjunto geométrico ou de um objecto natural e que se reduz, no caso dos objectos da geometria normal de Euclides, às suas dimensões usuais.” (pp. 170, MANDELBROT, 1991) MANDELBROT, Benoit B.. *Objetos Fractais*. Lisboa: Gradiva, 1991.

porém coincidível. É uma relação bem enraizada a qual pode ser apreciada através do *Conjunto de Mandelbrot*, visto como uma enciclopédia de número infinito de algoritmos. Também é considerada como uma fantástica coletânea eficientemente organizada de imagens, sendo o exemplo da ordem no *Caos* (FRØYLAND, 1992; PIETGEN *et al.*, 1993).

Outra forma de poder compreender o papel dos fractais nas ciências é na divisão em duas áreas, aquela que faz intervir o acaso e a que não faz, sendo esta última achada na física estatística e na teoria das probabilidades (MANDELBROT, 1991).

Já Gleick (1990) diz, em termos da imaginação, que fractal pode ser entendido como uma forma de ver o infinito, podendo ser gerado a partir de uma série de regras específicas bem definidas, facilmente repetidas.

Desde a perspectiva matemática de Barnsley (1988), os fractais são nada mais que um subgrupo do espaço, visto que nos espaços simples o subconjunto será geometricamente complicado.

Existem duas propriedades que basicamente definiriam o fractal como figura geométrica:

- ➡ objeto é autosimilar, e
- ➡ objeto tem dimensão fracionária.

Mandelbrot, o criador do termo, entende por Fractal:

“**FRACTAL**, *adj.* O seu significado é intuitivo. Diz-se de uma figura geométrica ou de um objeto natural que combine as seguintes características: *a)* As suas partes têm a mesma forma o estrutura que o todo, estando porém a uma escala diferente e podendo estar um pouco deformadas. *b)* A sua forma é ou extremamente irregular ou extremamente interrompida ou fragmentada, assim com todo o resto, qualquer que seja a escala de observação. *c)* Contém «elementos distintos» cujas escalas são muito variadas e cobrem uma vasta gama. (...) Depois de o autor mostrar que na natureza abundam objetos cujas melhores representações matemáticas são objetos fractais, passou a haver necessidade de um termo que os designasse e que não tivesse qualquer outro significado paralelo.” (pp. 170, MANDELBROT, 1991)<sup>23</sup>

Turcotte (1992) complementa colocando que o conceito fractal contém, sob um único guarda chuva, uma faixa grande de conceitos preexistentes de pura matemática até aspectos empíricos de engenharia, passando por conceitos na mecânica clássica, mecânica quântica, etc.

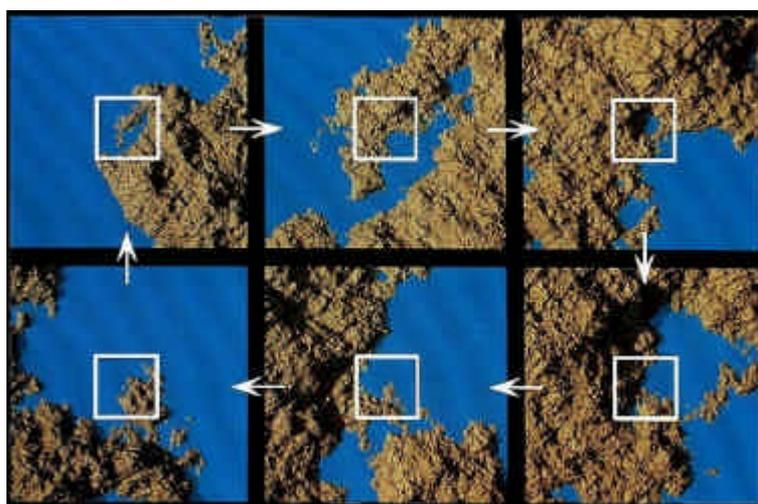
---

<sup>23</sup> MANDELBROT, Benoit B.. **Objetos Fractais**. Lisboa: Gradiva, 1991.

Se poderia considerar que a presença fractal tem um caráter puramente científico ou mais ainda, só matemático, mas se conhece a existência de aplicações muito antes das propostas de Koch, Peano, e Sierpinsky, como a torre que Gustave Eiffel construiu em Paris, na qual, de forma deliberada, incorpora a idéia de curvas fractais cheias de ramos de pontos em sua estrutura (MANDELBROT, 1983).

A idéia do fractal não ficaria corretamente esclarecida se não fossem acrescentadas suas características, que proporcionam uma abordagem mais detalhada e de fácil compreensão.

Está claro que a representação visual de qualquer fractal estará limitada pelo sistema ou ferramenta de representação gráfica, pois em cada ampliação sempre existirão detalhes a serem acrescentados. Esta característica dos fractais é chamada de *estrutura fina* (SERRA & KARAS, 1997). Este detalhamento sucessivo ao longo das ampliações tem uma característica intrínseca, chama de auto-similaridade (*definida em 3.3.1*) fundamental na definição do fractal (*ver figuras 3.18 e 3.19*). A topologia também é considerada como uma característica que descreve os fractais (*definida em 3.1.1*).



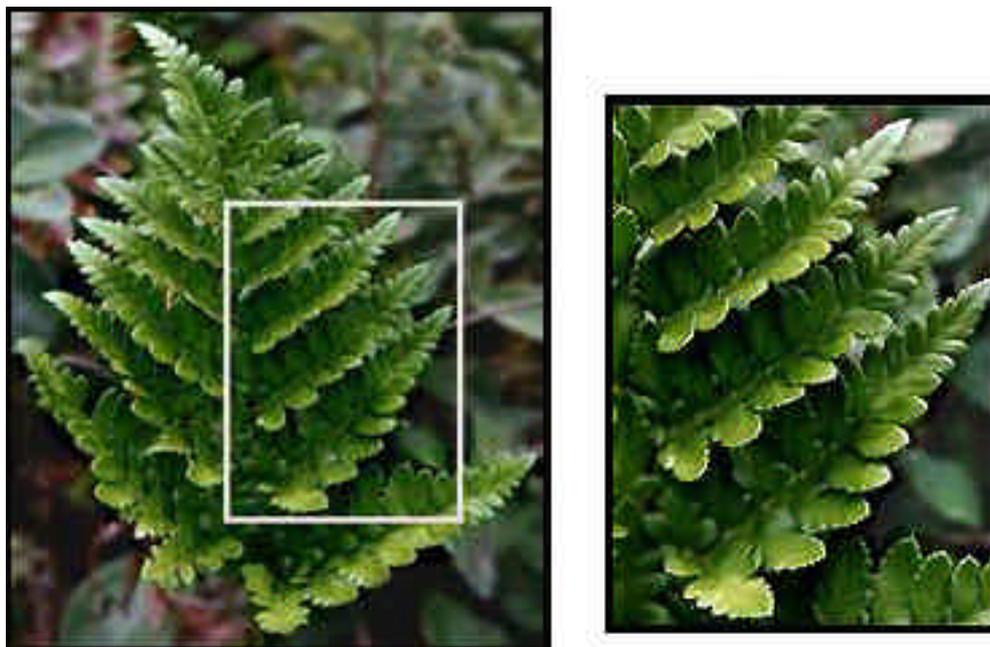
**Figura 3.18** Litoral fractal, repetido depois de 6 ampliações, onde se aprecia a auto-similaridade das formas (PIETGEN *et al.*, 1993).

Gleick (1990) explica um pouco mais a *auto-similaridade*, colocando que uma forma altamente fractal chega a ser obtida facilmente a partir de cópias da mesma, tal como uma forma menos fractal é obtida com menos facilidade. Acrescenta como dado importante, que todas as formas podem ser obtidas com um certo nível de aproximação.

Dentro da dinâmica dos fractais, existem partes que, dependendo das condições iniciais, são visitadas mais freqüentemente que as outras, produzindo distribuições de grão

grosso não uniformes (McCAULEY, 1993).

Embora muitos dos comportamentos fractais sejam construções de sistemas caóticos ou aparições na transição para o *Caos*, e que eles têm um comportamento inesperado, é considerada como necessária a capacidade *aleatória* (*randômica*) para que um modelo seja realmente aceitável (MANDELBROT, 1983).



**Figura 3.19** Auto-similaridade através das escalas encontradas na *Natureza*. (Fotos: David Omar Nuñez Diban, 1998)

Mais ainda, como todo sistema dinâmico os fractais estão em constante movimento, evoluindo (PIETGEN *et al.*, 1993). E é assim como os sistemas dinâmicos são fonte geradora dos fractais deterministas, fractais que tem como condição necessária ser igual a comportamentos caóticos e a invariabilidade da escala, a não linearidade (BARNSELEY, 1988; TURCOTTE, 1992).

Existe outra definição, às vezes usada, a de *multifractais*, que não é outra coisa senão um conjunto conformado por subconjuntos fractais ou como sinônimo de «formalismo termodinâmico sobre os conjuntos estranhos». Porém para que estes assumam seu papel na linguagem dos fractais, Mandelbrot (1991) primeiramente, como condição necessária, os torna aleatórios.

Outra consequência das escalas geradas dinamicamente, é que estas não são iguais, e podem ser organizadas em árvores com ramos, sendo a árvore incompleta, o que leva a compreender que os fractais, em geral, são irregulares (*não uniformes*) sobretudo os que

tem caráter real. E, é através das ampliações que os subconjuntos são mais ou menos parecidos, mas não exatamente idênticos, sendo que só há uma *auto-similaridade* estatística, não contemplada como uma estrita *auto-similaridade* geométrica (McCAULEY, 1993). A conceituação é acrescentada por Mandelbrot (1983) dizendo que um fractal não uniforme é a soma ou diferença de partes das variantes dimensões: fractais –  $D$  e topológicas -  $D_T$ .

Complementa-se o conceito fractal, considerando-o como uma geração hierárquica de escalas de comprimento que podem ser organizadas dentro desta árvore. Considerando a irregularidade dos fractais, a partir da árvore, esta tem uma irregularidade uniforme; como diria Eugene Delacroix, em 1981, que os ramos de uma árvore são eles próprios arvorezinhas completas, dando a entender a existência de um padrão que determinaria essa uniformidade (MANDELBROT, 1991).

Considerada a estrutura de árvore, da fácil apreciação deste ser vegetal, detecta-se uma seqüência na estrutura dos ramos, bifurcando-se e finalizando em um pequeno ramo que termina em ponta. Às vezes esta seqüência carece de imitação de forma, mas sim de imitação do princípio que a constitui. Em palavras de D'Arcy Thompson (MANDELBROT, 1983), a árvore é governada por simples regras físicas que determinam as mudanças relativas em volume e área. Se o caso for contrário, no qual este princípio gera imagens complicadas, é provável que as regras o sejam também, referendo-se Barnsley (1988) às regras de construção da forma fractal.

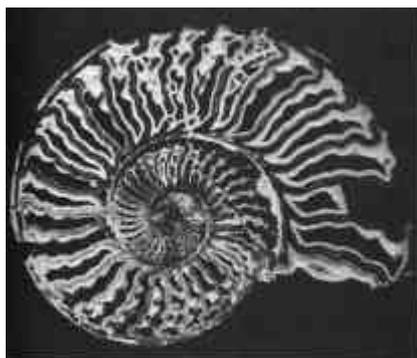
Estas idéias aparentemente confusas, podem ser interpretadas de forma mais simples, podendo se afirmar que não é outra coisa senão uma “bagunça ordenada”. “Ali estava uma moeda com dois lados. De um, a ordem, com uma emergente aleatoriedade; e, um passo mais adiante, estava a aleatoriedade com sua própria ordem subjacente.” (DOYNE FARMER, pp. 242, *apud* GLEICK, 1990)<sup>24</sup>

Esta peculiaridade, limitada a um número finito de gerações é tudo, para os cientistas naturalistas ou engenheiros, que consideram irrelevante levar esta geração até o infinito (McCAULEY, 1993).

De forma prática, este tipo de hierarquização pode ser visto, na estruturas sociais ou empresarias entre os seres humanos. Outro exemplo de árvore fractal é vista por Turcotte (1992) na bacia dos rios, em função de uma empírica evidência de que a erosão é invariável na escala fractal.

---

<sup>24</sup> GLEICK, James. *Caos-A criação de uma nova ciência*. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda., 1987.



**Figura 3.20** O padrão de crescimento de uma Ammonite segue um padrão de logaritmo espiral (PIETGEN *et al.*, 1992).

Sob esta perspectiva construtiva, ou diga-se, estrutural, a abordagem anatômica faz questão de diferenciar as partes ou desagregar sua explicação, enquanto os fractais tentam uma abordagem global, procurando o fator determinante das variações.

Existem dois elementos a serem altamente considerados, para que uma estrutura possa ser considerada como fractal (*elementos definidos em 2.2.3*): o **iniciador** (*initiator*) e o **gerador** (*generator*). Estes dois elementos são os responsáveis pela geração auto-similar das formas, ou estruturas, dentro do corpo dos fractais.

Uma das vantagens da geometria dos fractais vai permitir passar por cima de vários problemas, como a definição de pontos no espaço. A geometria fractal vai considerar a Terra como um lugar abstrato, facilitando a suposição de poder designar uma posição a cada ponto, contemplada nela. Este procedimento permitirá a comparação de grupos no mundo real com os fractais montados no laboratório de forma de atratores do *Sistema de Função Interativa - IFS (Iterative Function System)* (BARNSELY, 1988). O IFS é uma coleção de funções que interagem aleatoriamente. Pesquisas recentes de Barnsley e outros (DEVANEY, 1990) revelaram que este tipo de sistema dinâmico é importante em aplicações de imagens e compressão de dados. Assim, o uso dos processos fractais ajuda a criar complexas estruturas com fórmulas simples ou compactadas, as quais requerem menos uso de memória, em aplicações no computador.

Ao citar outras aplicações dos fractais, Turcotte (1992) relata a inserção da modelagem fractal com sucesso na maior parte da topografia e batimetria (representação gráfica do relevo) da terra, fora das jovens edificações vulcânicas, leques aluviais e trincheiras oceânicas.

Também, a dimensão fractal, pode ser anexada nas nuvens, árvores, litorais, plumagens ou plumas, redes neuronais no corpo, pó no ar num instante no tempo, as roupas, a distribuição das frequências da luz refletida pela flor, as cores emitidas pelo Sol e

a superfície enrugada do mar durante uma tempestade.

Como se pode esperar, o uso dos fractais como ferramenta de modelagem, tem certas “limitações”, as quais são comuns em tudo, pois não se sabe de conhecimento que possa resolver todos os problemas. Aliás, o uso dos fractais está sendo considerado uma área ainda não explorada na sua grande abrangência.

Uma citação feita por Turcotte (1992) enfatiza o árduo trabalho que falta fazer, colocando que os fractais como útil ferramenta empírica, fornecem uma interpretação racional das extrapolações e interpolações da observação. Considerando que existe uma base substantiva para esta aplicação, proporcionada pelo caos e conceitos relacionados a este, como a crítica auto-organização.

Existem situações em que um modelo fractal, que tenta facilitar as coisas, não simplifique de maneira útil a já complicada conformação do fenômeno ou objeto real (MANDELBROT, 1991). Tendo assim que, no caso dos atratores, ao serem não uniformes, não podem ser definidos por uma só dimensão fractal (McCAULEY, 1993).

De outra perspectiva, o uso dos fractais tem a pretensão de introduzir-se no fluxo de aproximação da caracterização e modelagem da complexidade na natureza (PAGEOPH *apud*, TURCOTTE 1992). Quando as coisas são muito complexas e se tem muita informação para armazenar, então os fractais, através da auto-similaridade, simplificam a informação, facilitando esta função, o que seria um tipo de “compactação”. O Caos não explica os fatos usando as tradicionais abordagens Newtonianas e os fractais não empregam as dimensões Euclidianas.

### **3.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A GEOMETRIA FRACTAL**

Trabalho difícil é o de fechar uma matéria que não possui um fim determinado por sua própria natureza. Porém, há uma necessidade de concentrar algumas idéias, que de uma forma rápida levem a um entendimento global do mundo Fractal. A revisão feita, parte de uma abordagem no *Caos*, para logo entrar nos detalhes que permitiram entender o que significa o Fractal e seu universo intrínseco. De outro lado, é muito provável que a constante menção de Mandelbrot parece cansativa, embora a ausência deste pesquisador seria como tentar falar da teoria da Relatividade sem mencionar a Einstein.

É interessante o pensamento de Mandelbrot, na referência ao da criação dos objetos fractais, pois no princípio, o alvo centrou-se na descrição das geometrias da natureza em sua imitação através de fórmulas, baseadas em modelos estatísticos, sendo que tempos depois verificou-se que essa técnica poderia ser aplicada na dinâmica.

A abordagem fractal pode levar a uma idéia confusa enquanto se realiza a análise. Mas o rigor apresentado tem um caráter informativo, a partir do qual serão considerados os conceitos mais abrangentes.

Numa análise final, de um sistema real ou artificial, que se descompõe em partes articuladas de uma mesma forma similar, as propriedades das partes, são menos importantes que as regras de articulação (MANDELBROT, 1983). Isto fica mais claro quando, Erwin Schrödinger diz que um organismo vivo tem o “(...) dom surpreendente de concentrar uma 'correnteza de ordem' sobre se mesmo e com isso escapar da deterioração no caos atômico.” (pp. 287, GLEICK, 1990)<sup>25</sup>

Se um fenômeno natural é fractal, deve ser reivindicado com a companhia da descrição de um conjunto fractal específico (MANDELBROT, 1991).

“ O homem prático esforça-se sem cessar por aprender a ver e medir melhor, para, de seguida, poder descrever e controlar melhor, mas não pode dar-se ao luxo de aguardar que os fenômenos que se lhe deparam estejam perfeitamente compreendidos.. Para ele, a qualidade das «imitações» fractais da natureza ultrapassa de longe o respectivo interesse artístico; o seu papel prático.” (pp. 11, MANDELBROT, 1991)<sup>26</sup>

Da contraposição da idéia inicial, ao momento da proposta da geometria fractal, Mandelbrot (1991) começou fazendo apelo constante ao caos estatístico, porém com sua utilização, transbordou as fronteiras deste apelo a outras áreas. Por isso se pode considerá-la como uma geometria da natureza e geometria do caos, de duas perspectivas: a estatística e a determinista.

Uma das constantes inquietudes deste trabalho é a preocupação por retornar a natureza como fonte de inspiração e aprendizagem. A exploração desta riqueza em volta só pode ser percebida pelos sentidos que o ser humano tem, e como muitas das situações, em uma primeira instância, só podem ser abstraídas através da observação, para o qual a visão é peça fundamental.

Importante para a ciência é a geometria explícita e visual, entretanto nem tudo será sempre possível de ser apreciado assim, embora seja uma proposta nova que enriquece, com aspectos do real, e cada vez mais deve ser considerada, pois os velhos formalismos não limitam o novo conhecimento. A geometria fractal “(...) fez sair o verbo *ver* do sentido figurativo e abstracto a que havia sido remetido, para voltar a encontrar o seu sentido

---

<sup>25</sup> GLEICK, James. **Caos-A criação de uma nova ciência**. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda., 1987.

<sup>26</sup> MANDELBROT, Benoit B.. **Objetos Fractais**. Lisboa: Gradiva, 1991.

concreto, do qual o instrumento é o olho humano.” (pp. 207, MANDELBROT, 1991) “Ora como é sabido por todos o que já o tentaram, ver não é um dom inato, mas um talento que também exige uma aprendizagem.” (pp. 237, MANDELBROT, 1991) <sup>27</sup>

Estas considerações levam a compreender que a linguagem fractal, além de acrescentar novas e belas propostas, fornece uma útil ferramenta na rotineira pesquisa da geometria do Caos, que se não foi esquecida, abrange o amplo universo da dinâmica e dos atratores estranhos, assim como uma nova opção dentro do alfabeto geométrico.

Em princípio seria difícil poder interpretar a Natureza, que na atualidade é até uma prática inatingível, porém se chega a ter uma aproximação bastante considerável, para os propósitos imediatos a serem atingidos. Esta aproximação é possível entendendo o pensamento de Mandelbrot (1983), fazendo referência as formas biológicas que muitas vezes são complicadas, o que pareceria que os programas de codificação são muito grandes. Sendo que a complicação em questão muitas vezes, se refere a alta recursividade na suas estruturas. E assim é que as construções simples podem dar origem a objetos que tem formas de aparência extraordinariamente caótica.

“*Sistemas* simples dão origem a comportamentos complexos. Sistemas complexos dão origem a comportamentos simples. E, o que é mais importante, as leis da complexidade têm validade universal, sem levar em conta os detalhes dos átomos constituintes do sistema.” (pp. 292, GLEICK, 1990)<sup>28</sup>

Até este ponto, tudo é praticamente compreensível: poder reproduzir fenômenos naturais, através dos fractais, para serem estudados e propor alternativas na melhora das condições onde estes fenômenos atuam. Mas é a partir deste ponto que Pietgen *et al.* (1993), questiona se o conhecimento das leis naturais do mundo, que ajudaria a prever os fatos, seria bom ou não, no sentido da ética e da futura administração da humanidade e seres vivos em geral. Postura lógica, pois poderia prestar-se a manipulações estritamente parciais, não por questões de interesses particulares, mas por questões de desconhecimento da universalidade da interação dos sistemas.

Conforme à citada a parábola vista em 2.1, percebe-se que no conhecimento único de parte da convivência sistêmica que existia nesse universo, tornava a solução parcial ou setorizada, pois se desconheciam todos os agentes interventores do ciclo. É relevante considerar que: “Therefore all perceptions is a selection from an abundance of possibilities

---

<sup>27</sup> MANDELBROT, Benoit B.. **Objetos Fractais**. Lisboa: Gradiva, 1991.

<sup>28</sup> GLEICK, James. **Caos-A criação de uma nova ciência**. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda., 1987.

and a limitation of future possibilities...”. (pp. 12, PIETGEN *et al.*, 1993) <sup>29</sup>

Se este processo evolutivo, usado em processos de seres vivos, assim como em fatos naturais, ainda está em atividade, por que não pensar que poderia ser uma forma simples para poder aproveitar elementos singulares na elaboração de novas propostas. Estas teriam uma maior aproximação, desde o ponto de vista conceitual genético até uma representação reprodutiva natural. Este é um ponto de partida, já empregado pela engenharia genética, na busca de reproduzir partes do corpo humano, por meio do estudo de estruturas moleculares. Afinal de contas, não é outra coisa daquilo dito numa troca de idéias entre Einstein e Ford na qual este último termina colocando que: “ "Deus joga dados com o universo" , (...)."Mas são dados viciados. E o principal objetivo da física, hoje, é descobrir as regras segundo as quais foram viciados e como podemos usá-los para os nossos objetivos".” (pp. 302, GLEICK, 1990) <sup>30</sup>

Esta opinião não só é aplicável a uma área restrita, pois esse interesse pela causa abrange tudo e todos. Como já foi colocado, não é a limitação do pesquisador, mas a limitação do meio.

A proposta fractal não busca uma imitação do processo de crescimento e desenvolvimento dos seres vivos, porém o reconhecimento da existência de um processo em particular, e a aprendizagem do conceito que está por trás deste desenvolvimento, considerando importante que a mudança na forma das estruturas deve estar em sintonia no tempo e no espaço (GLEICK, 1990). Desta maneira seria mais fácil poder aplicar este conceito a áreas diversas, sendo neste caso, ao setor do *Design* de Produtos, cuja aplicação será abordada no Capítulo 5.

---

<sup>29</sup> "Para esse fim todas as percepções são a seleção de uma abundância de possibilidades e a limitação de futuras possibilidades..." PIETGEN, Heinz-Otto; JÜRGENS, Harmut & SAUPE, Dietmar. **Chaos And Fractals - New Frontiers of Science**. New York: Springer-Verlag, 1992.

<sup>30</sup> GLEICK, James. **Caos-A criação de uma nova ciência**. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda., 1987.

## CAPÍTULO IV

---

### O UNIVERSO DOS MÉTODOS DE DESIGN

Apesar de sua presença, não se discutirá a efetividade da função de satisfação das necessidades do consumidor nem a ética da necessidade auto-crescente ou da necessidade induzida. Contudo, uma explicação simples sobre elas fornecerá uma melhor postura tanto por parte do *usuário* como do *designer*.

A vida, com todos os avanços e problemas, continuamente está gerando e colocando à luz novas necessidades, das quais algumas aparecem como conseqüência do desenvolvimento nas diversas áreas do conhecimento. Poder-se-ia dizer que, até certo ponto, as necessidades são “naturais”. Que tão necessárias são estas “carências”? É provável que a tentativa de responder a esta pergunta esclareça o panorama.

O surgimento das necessidades induzidas, que não são outra coisa senão a criação de expectativa, no usuário, de que o novo produto/serviço seja indispensável para ele. Tudo isto se consegue através dos diversos canais informativos que a mídia possui. Claramente entende-se que não existe uma necessidade latente, pois são as condicionantes do novo produto que com o tempo vão gerar esta nova “carência” (geradas pela moda, entre outras).

As coordenadas de trabalho do *designer*, inserido no mundo capitalista, podem estar subordinadas a quatro aspectos: à supervalorização do produto; à competitividade no mercado; ou aliciamento do consumidor e à busca de maximização do lucro (DA SILVA, 1977). Em uma visão parcializada, o *designer* vai trazer novas idéias, deixando para trás os velhos embasamentos, com os quais ele não vai satisfazer os requerimentos existentes, nascendo novas necessidades como resposta aos modelos cambiantes e facilidades disponíveis (JONES, 1978). Desta forma, o objetivo do processo de *design* não aponta para a incrementação do equilíbrio; mas, sim para a alteração dos elementos definidos ao longo do desenvolvimento deste. Porém, a discordância encontra-se em que a tendência do *bom design* visa atingir um equilíbrio idealizado, o qual não se tem certeza que exista. Corroborando esta colocação, o *designer*, como profissional, tem a convicção de executar

responsabilidades contratuais de acordo com o interesse do perfil do cliente, para proteger a segurança pública e bem-estar, para respeitar o meio ambiente e para observar a prática de negócios éticos (IDSA, 1996). A contribuição latente apresentada pelos *designers* é enfatizada nos aspectos do produto ou sistema, que se referem mais diretamente às características humanas, necessidades e interesses (IDSA, 1996). À luz do todo já apresentado pergunta-se: que tanto vale considerar este novo produto como indispensável?

As duas perguntas, anteriormente formuladas, podem ser respondidas não só da perspectiva do consumidor como daquele que fornece e cria o produto. A postura de um potencial consumidor será avaliada, não só de uma perspectiva econômica, mas de uma perspectiva que compromete variáveis complexas, tais como: a estrutura social, cultural, étnica, religiosa, etc., suscitando uma não aplicabilidade desta avaliação na presente pesquisa, embora seja importante que se possa pensar na validade daquilo que se está adquirindo. Aí também, encontra-se implicitamente uma forma de escolha altamente subjetiva, de competência única da pessoa.

Como se vê, não está sendo fácil delimitar as necessidades da posição de usuário, sobretudo pela grande diversificação das sociedades atuais. Ressaltando-se que aquelas sociedades estabelecidas com períodos longos entre suas mudanças, permitirão fornecer um perfil de usuário e valores considerados na validação dessa área.

Outra posição é a do produtor, na qual está inserida a presença do *designer*, não como o grande fator determinante, mas sim como um protagonista de muito peso e diferencial. A posição da empresa também determina o rumo a seguir, pois é ela que viabilizará as propostas do *designer*. Aqui se atinge a ética, pois a concepção das novas propostas a serem produzidas, que também poder-se-ia considerar aos serviços, podem ser orientadas para suprir necessidades latentes ou para sugerir uma nova proposta criando um novo setor de mercado. É lógico pensar que neste lado da história existam variáveis que interagem, mas a estruturação destas permitirá um direcionamento.

Compete a cada área científica repensar sua posição e ver em que pode ser melhorada. Este é o motivo pelo qual a presente pesquisa tem como intenção fornecer uma abordagem que aproxime mais a este entendimento, focalizando-se uma das partes que compõem a estrutura de trabalho do *designer*. Isto só será alcançado entendendo-se o que se compreende por métodos, estratégias e técnicas que ele emprega no discurso das novas propostas, na tentativa de auxiliar a diminuir carências sem criar novas, evitando agressões ao meio ambiente.

#### 4.1. O DESIGN INDUSTRIAL

Tentar definir uma palavra tão abrangente como *Design* pode levar a muitas conjecturas e finalmente a uma perda em um universo sem começo e fim. A finalidade de sua definição servirá para uma rápida contextualização do *designer*, sob uma composição conceitual junto a outra palavra resultante, o *Design Industrial*.

As atitudes da pessoa geralmente são orientadas pelas intenções, e, dizer intenção é como dizer desígnio, conseqüentemente se pode dizer *design* (DA SILVA, 1977). Desta maneira o *design* é visto como uma função tradutora de um propósito em uma forma física, e simultaneamente, trata-se do processo que envolve a definição de um propósito, que vai passar por uma série de questões e respostas na busca de soluções (BERNSEN, 1995).

O *Design* há de ser uma atividade criativa tendo como alvo o estabelecimento das qualidades multi-faces do objeto, processos, serviços e seus sistemas no ciclo de vida completo. Assim, o *Design* é o fator central na humanização inovadora das tecnologias e também o fator crucial da mudança cultural e econômica. Paralelamente, o *Design* procura descobrir e avaliar as relações estruturais, organizacionais, funcionais, expressivas e econômicas com a tarefa de melhorar a capacidade sustentável global e a proteção ambiental (éticas globais), fornecendo benefícios e liberdades à comunidade humana por inteiro, usuários finais coletivos ou individuais, produtores ou protagonistas de mercado (éticas sociais), comportando a diversidade cultural, apesar da globalização do mundo (éticas culturais) dando produtos, serviços e sistemas, formas essas que são expressivas “*de*” (semiologia) e coerentes “*com*” (estética) sua própria complexidade (ICSID, 1999).

O *Design* compreende produtos, serviços e sistemas concebidos com ferramentas, organizações e lógica introduzidas pela indústria – não necessariamente quando produzidas por processos em série. O adjetivo “*industrial*” colocado ao *design* esta referido ao termo indústria ou no seu significado de setor de produção ou em seu significado antigo de “*atividade habilidosa*” (ICSID, 1999). A partir desta atividade habilidosa o *design* equivale a tudo aquilo que foi a “*arte*” acrescentada por alguns elementos próprios do desenvolvimento industrial: a técnica, a capacidade reprodutiva e o consumo (LLOVET, 1979).

De uma forma complementar, define-se *designer* como um indivíduo que exerce uma função intelectual (ICSID, 1999), e o *designer industrial* como um serviço profissional de criação e desenvolvimento de conceitos e especificações que otimizam a função, o valor e a aparência dos produtos e sistemas para benefício mútuo do usuário e do produtor (IDSA,

1996). Esse processo pode ser abordado de maneira artística (*existência de flexibilidade*) ou matemática (*aplicação da dívida e experimentação controlada*) (JONES, 1978).

O serviço de design industrial, diferente do que se pensa, vai ser feito com a colaboração de profissionais de diversas áreas, segundo os requerimentos do problema, o qual é consequência da complexidade dos processos e das "carências" atuais, sendo difícil concentrar todo o conhecimento necessário em uma só pessoa. Assim, o *designer* industrial expressa conceitos que incorporam todos os critérios relevantes de *design* determinados pelo grupo profissional de trabalho o qual deve ter uma característica importante de retroalimentação (*feedback*) de informações voltada para o *designer*, como é sugerido por Rahnasto (1998). Porém, todo trabalho grupal tem suas limitações nas dificuldades interpessoais e inter-profissionais que conspiram na limitação do espaço de manobra do *designer*, que é fundamental para a ação criativa, embora já nos anos 70, Jones (1978) colocasse a necessidade de se ter planejadores e *designers* multidisciplinares.

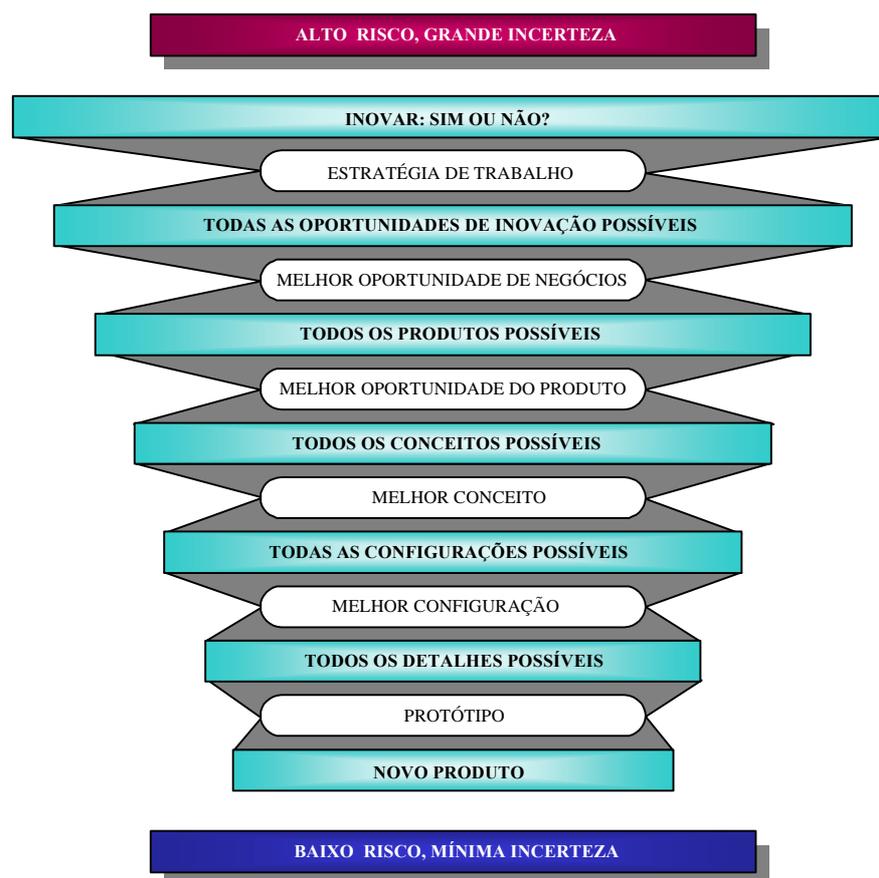
Em uma visão mais geral, pode-se complementar a visão do *design* considerando-o como o trabalho concentrado no "frente – final" do núcleo de *design* de um produto (PUGH, 1991). Sob a concepção sistemática que envolve esta área de execuções reais, podem apresentar-se *fatores que podem afetar a proposta de design*, agrupados em *complexidades externas* como: a transferência tecnológica, as consequências secundárias de um novo desenvolvimento, as investigações corporativas, a sensibilidade, as interações humanas e a inevitável incompatibilidade entre produtos. Por outro lado, existem as *complexidades internas*, que abrangem os altos investimentos, as incompatibilidades das fontes externas perturbando a compatibilidade interna e a dificuldade na definição de uma sequência aceitável com a presença de transformações constantes no modelo adotado a partir da influência exercida pelo fluxo nas tecnologias e idéias (JONES, 1978).

## 4.2. PROJETO CONCEITUAL

O projeto conceitual tem como propósito o traçado das linhas básicas da forma e função do produto. A concepção do produto é uma descrição aproximada da tecnologia, princípios de trabalho e forma do produto, da mesma maneira que visa definir uma lista de especificações, princípios funcionais e de estilo. Trata-se da descrição consciente de como o produto vai satisfazer as necessidades do consumidor, com benefício mútuo para usuário e produtor. O espaço deve ser limitado aos aspectos do *design* e das especificações de oportunidades apresentadas. Às vezes, é útil fazer um caminho inverso, partir dos objetivos e chegar até as restrições existentes (ULRICH & EPPINGER, 1995; BAXTER, 1998).

Apresentam-se diversas maneiras de se abordar o processo de projeto conceitual, de forma geral e como de exemplo, é colocada a proposta de Bonsipe *et al.* (1984), entre as diversas que possam apresentar-se e que vão ser definidas pelos contextos e recursos disponíveis. Este processo vai contemplar seis etapas, iniciando com a *problematização*, passando pela *análise*, nas suas diversas possibilidades (*funcional, estrutural, sincrônica, diacrônica, de uso etc.*), seguida de uma *definição do problema*, o *anteprojeto e definição de alternativas*, concluindo com o *projeto*.

Ao longo do desenvolvimento de um novo produto surgirão diversos elementos que vão questionar e gerar incertezas e com elas, os riscos que representam. É importante saber gerenciar e processar os recursos disponíveis visando diminuir estes elementos. Baxter (1998) executa um processo convergente através do funil de decisões (*figura 4.1*), reduzindo de forma progressiva e sistemática os riscos de fracasso do novo produto. O funil de decisões vai servir como estrutura de execução no estágio criativo, operando repetidas vezes em fronteiras cada vez mais fechadas.



**Figura 4.1** Funil de decisões (pp. 9, BAXTER, 1998).

As características que conformam um projeto conceitual definem-se na verificação

dos benefícios mútuos, assim como a exploração das fronteiras que limitarão a proposta, sendo considerado um processo altamente criativo. Como consequência, não existe a preocupação pelos elementos puramente físicos, envolvidos no desenvolvimento da proposta do projeto, porque eles serão desenvolvidos em etapas posteriores. A flexibilização das restrições é importante para criar um ambiente altamente criativo, como será apresentado posteriormente. As comparações entre os processos de projeto conceitual, processo criativo e métodos de *design* vistas no **quadro 4.1**, apresentam a semelhança sequencial e metódica existente entre eles, e como o processo conceitual incorpora o processo criativo.

Etapas	1	2	3
<b>Metodologia Criativa</b>	Análise e definição do problema.	Geração de idéias sobre conceitos.	Seleção das idéias sobre conceitos.
<b>Projeto Conceitual</b>	Objetivos do projeto conceitual.	Geração de conceitos possíveis.	Seleção de conceitos, de acordo com a especificações do projeto.
<b>Métodos de Design</b>	Análise do espaço do problema.	Análise das tarefas. Análise das funções do produto.	Matriz de seleção dos conceitos.
<b>Resultados</b>	Proposição do benefício básico, dentro das metas fixadas na especificação do projeto.	Geração de muitos conceitos.	Seleção do melhor conceito em comparação com as especificações do projeto.

**Quadro 4.1** Comparativo entre processo criativo, projeto conceitual e métodos de *design* (adaptado de BAXTER, 1998).

Na concepção de um novo produto devem ser considerados alguns aspectos gerais que vão orientar os esforços realizados. Baxter (1998) define três elementos aos quais ele agrega pesos que vão determinar sua importância no processo. O primeiro elemento lida com a *forte orientação para o mercado*, trabalhando diretamente com os benefícios e valores para os consumidores carregando um peso de 5X. Um segundo elemento vai atacar diretamente *o planejamento e as especificações prévias* do produto, antes de ser desenvolvido, com um peso de 3X. O terceiro elemento lida com *os fatores internos à empresa*, envolvendo as áreas técnica e de marketing, com um peso de 2,5X. Em uma rápida revisão percebe-se que o fator humano, o consumidor, vai ter uma importância desequilibrada, enquanto as possíveis limitações técnicas podem ser resolvidas de diversas maneiras sem prejudicar grandemente o projeto em desenvolvimento.

A importância de um bom desenvolvimento da etapa conceitual está reforçada pela distribuição das proporções de retorno da proposta de Baxter (1998), na qual o projeto conceitual tem um retorno de 5X, já os métodos de fabricação tem um retorno de 2X, as estratégias de fabricação com retorno de 1,5X e finalmente as atividades de pré-produção com um retorno de 0,66X. Esta proposta considera que qualquer modificação, de dimensões pequenas, feita em um projeto vai significar um custo grande no setor de produção, levando a otimizar o produto no setor de projeto conceitual (JONES, 1978). A geração de conceitos é relativamente de baixo custo e pode ser feita rapidamente em comparação com o resto do processo de desenvolvimento (ULRICH & EPPINGER, 1995).

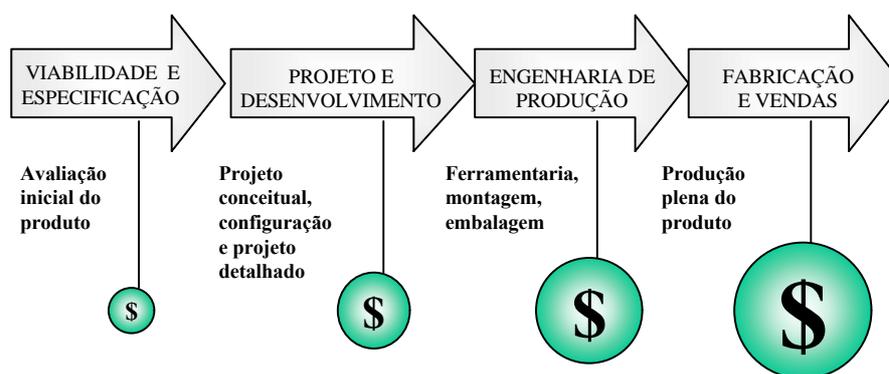
As duas categorizações obtidas de Baxter (1998) direcionam-se a reforçar a importância do processo conceitual e as implícitas considerações subjetivas inerentes aos usuários e *designers*, dentro do processo de desenvolvimento de um projeto no setor industrial.

Pode-se pensar que na etapa conceitual o raciocínio deve estar totalmente direcionado para gerar uma quantidade enorme de possibilidades viáveis, porém sempre existem as alternativas inviáveis e, na existência de processos bem controlados de desenvolvimento de novos produtos, estes vão propiciar o descarte dessas propostas consideradas inviáveis da forma mais rápida possível. Considera-se 95% das alternativas inviáveis, o que pode levar a pensar que o 5% de produtos com sucesso não permite uma fácil obtenção de lucro com produtos novos. Daí a importância de gerar o maior número de alternativas e eliminar rapidamente aquelas que não sirvam, e quanto mais lento for este processo haverá mais perdas com os fracassos. “Paradoxalmente o principal indicador de um bom procedimento de desenvolvimento de novos produtos é justamente a quantidade de novas idéias rejeitadas e a rapidez com que isso é feito.”(pp. 19, BAXTER, 1998)<sup>31</sup>

A partir da ótica de disponibilidade e locação de recursos econômicos, é apropriado considerar que “o compromisso financeiro (feito em quatro etapas - *figura 4.2*), apresenta uma tendência de crescimento substancialmente na medida que o processo de desenvolvimento do produto avança (BAXTER, 1998). A partir deste estágio, o adequado uso dos recursos será importante, já que o custo pode incrementar-se, às vezes, em medidas desproporcionais independentemente da complexidade da proposta. Desta forma, é importante criar uma correta definição conceitual do *design* no começo do processo industrial, evitando-se custosas alterações posteriores, assim como insistentes soluções defeituosas ao longo da linha produtiva e na linha do processo total.

---

<sup>31</sup> BAXTER, Mike. *Projeto de Produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos*. São Paulo: Editora Edgar Blücher LTDA., 1998.



**Figura 4.2** O crescimento do compromisso financeiro a par do avanço do desenvolvimento do produto (pp. 12, BAXTER, 1998)

Com base nas colocações prévias, neste segmento do capítulo, aprecia-se, no setor industrial, o início de uma valorização e ponderação à etapa de *design*. Em decorrência, o setor de *design* vem sendo considerado uns dos pilares mais bem cuidados e desenvolvidos do longo processo produtivo, sendo que nele se concentra um grande valor diferencial, na competência nos diversos segmentos do mercado.

A competitividade vai exigir que o produto chegue ao mercado com um bom *design* para o qual devem ser considerados dois aspectos. O primeiro, considera que não basta a solução do problema, mas também, sua boa definição. As questões não necessariamente estão baseadas numa prévia definição acertada do problema. Já o segundo aspecto orienta-se em fazer as questões apropriadas e respondê-las corretamente. Em muitos casos, a definição do problema não foi clara no início, revelando-se como parte constituinte da solução (BERNSEN, 1995).

#### 4.3. OS MÉTODOS E AS TÉCNICAS DO DESIGN

Os métodos e técnicas apresentados são colocados de forma conceitual com o objetivo de definir as características que possam servir para uma posterior verificação e interação com os conceitos fractais e caóticos, caso eles o apresentem, também para a modelagem de uma proposta fractal no *design*. Tentar colocar tudo o existente na área metodológica seria praticamente um trabalho infinito, pelo que se remeterá aos modelos e suas classificações, nas formas mais conhecidas e gerais, evitando um aprofundamento nos processos específicos.

Há dois pesquisadores que fazem uma classificação geral dos métodos empregados no *Design*, Jones (1978) e Bomfim (1995), considerados por seu melhor enquadramento com a presente pesquisa.

A partir deles se pode visualizar outros autores com métodos particulares, bem como outros que se encaixam dentro da classificação apresentada pelos autores mencionados.

#### 4.3.1. Os métodos de Primeira e Segunda Geração

De uma forma geral, o modelo para análise do *design* apresentado por Bomfim (1995) caracteriza cinco fatores interagindo de forma cíclica, através de *inputs* e *outputs*. Assim, vão determinar o desenvolvimento de um projeto sob a ótica que o *design* vai ter como atividade: a configuração dos produtos fabricados em série. Os elementos são: Sociedade como instituição, Indústria, *Designer*, Usuário e Produto.

A proposta colocada por Jones (1978) vai caracterizar três grandes perspectivas, a *Caixa Preta*, a *Caixa Transparente* e o *Sistema Auto-organizado*. Esta classificação é complementada com a colocação de Bomfim (1995), o qual denomina os sistemas de *caixa transparente* de *métodos de Primeira Geração*, e o *sistema de caixa preta*, de *métodos de Segunda Geração*. Adicionalmente, Bomfim simplifica a classificação nestes dois níveis, incluindo aquela terceira perspectiva de *sistema auto-organizado*, dentro dos métodos de primeira geração.

Numa perspectiva simplista, considera-se como primeira classificação metódica, a proposta por Bomfim, com suas duas gerações, com a consideração de que a ordem de apresentação não determina a seqüência de execução das mesmas.

Tanto os métodos de primeira geração quanto os de segunda geração são aplicados simultaneamente. A omissão de um deles vai trazer como consequência a pouca eficácia do outro. E sob uma seqüência hierárquica, a falta dos de primeira geração complicará amplamente a aplicação dos de segunda geração (BOMFIM, 1995).

##### 4.3.1.1. Métodos de Primeira geração

A atividade de *design* é realizada de forma linear, com uma abrangência limitada, considerando-se uma interação entre sujeito e produto, que ao ser seguido dogmaticamente traz como consequência um resultado pobre em nível de projeto, porém, podendo ser útil em projetos de pouca complexidade, devido a sua aplicação simples. O *input* de uma etapa é o *output* da antecedente, no qual a presença da retroalimentação (*feedback*) acontece só em cada etapa deste processo não atingindo as outras (BOMFIM, 1995).

##### a) Caixa Transparente

A primeira perspectiva sob a qual se pode estabelecer uma classificação dos métodos está diretamente relacionada com os aspectos racionais, nos quais o *designer* é considerado

como uma *Caixa Transparente* (*Glass Box*), dentro da qual pode ser estruturado um processo racional totalmente explicável.

O entendimento dos métodos de *design* estão interessados, em maior ou menor grau, na exteriorização dos pensamentos do designer, através de pressupostos racionais e reais. Jones (1978) faz uma comparação do *designer* com o computador, percebendo-se uma semelhança na estrutura do seu processo, pois ele trabalha exclusivamente com a informação que recebe e executa seu trabalho através de uma seqüência planejada em etapas e ciclos analíticos, sintéticos e avaliativos até encontrar a melhor das possíveis soluções.

Dentro dos elementos que vão caracterizar este método considera-se que os objetivos, variáveis e critérios devem ser fixados previamente. Um passo a seguir antes da busca de soluções é passar por uma análise do problema, sendo esta totalmente lingüística e lógica, oposta a um processo experimental. Assim como foram definidos os parâmetros, a estratégia é definida inicialmente, funcionando de maneira seqüencial, sem deixar de lado a possibilidade de operações paralelas, condicionais ou de reciclagem.

Como todo processo susceptível de erro, apresentam-se situações em que a visualização das questões não são claras, levando o *designer* a seu comportamento normal de uso de caixa preta, no qual ele vai agir de uma forma mais intuitiva.

É comum que se apresentem duas alternativas para os problemas, aquelas que podem ser *divisíveis pelo design* e aquelas *não divisíveis pelo design*.

A possibilidade da *divisão de um problema* em partes implica em que estas podem ser resolvidas em série ou paralelo. Em um problema fracionado se pode aplicar uma maior inteligência à solução de cada subproblema, e o tempo de *design* pode ser reduzido razoavelmente. Os sistemas de fluxo permitem este fracionamento, porque cada função está atribuída a um componente independente, vinculado este aos outros através de predeterminadas entradas e saídas (GOSLING, 1963, *apud* JONES, 1978). O conjunto total de *inputs* e *outputs* pode ser especificado no começo, e os componentes que se ajustem a estes *inputs* e *outputs* também se adaptarão ao sistema. Cabe ressaltar que neste caso os possíveis desvios secundários a partir das especificações originais de *inputs* e *outputs* e as relações entre os componentes não interrompem a seqüência planificada do design.

Uma dificuldade pode acontecer com a divisão do problema como ocorre no *Método Tradicional* (BOMFIM, 1995). Este método baseia-se nas informações geradas de

experiências e projetos passados, trabalhando as variáveis de forma separada, tendo como ponto vulnerável a carência de uma visão global do projeto. Geralmente este método é empregado no *redesign* ou alterações parciais de um determinado produto, previamente em existência.

Por outro lado, tem-se aqueles *problemas indivisíveis de design*, os quais não necessariamente devem ser grandes, pois vai depender do tipo de relações existentes entre seus componentes. E assim, caso se pretenda dividir um destes problemas, corre-se o risco de criar um certo prejuízo na sua execução ou outras características. Este tipo de problema apresenta-se em situações nas quais as funções não estão consignadas nas diversas partes senão ao geral, de uma maneira complexa e imprevisível a um conjunto muito integrado.

O processo de caixa transparente apresenta duas propostas metódicas de fluxo para os problemas apresentados, segundo Jones (1978), porém acrescentadas por Bomfim (1995). A primeira proposta é o *sistema circular* ou *cíclico*, sendo evitado sob a visão da reciclagem. Já em um sentido de otimização ideal, o alvo a ser alcançado pelos métodos de *design* é o *sistema linear*. A presença da reciclagem é a evidência da não detecção oportuna de subproblemas críticos, o que implicaria numa revisão ou cancelamento do projeto. Porém, nem todo processo cíclico está diretamente vinculado às correções de problemas, pois há situações de retorno, que executam a retroalimentação (*feedback*) com a presença de pontos predefinidos de entrada, como uma forma de verificação. Uma terceira proposta metódica é o *sistema de ramificações*, que desenvolve atividades e processos em paralelo. Caso no sistema seja definida unicamente a etapa inicial, o resto do processo é executado na medida que as exigências do projeto solicitam, desta forma constitui-se um quarto método, o *sistema adaptativo*. Uma variante ainda mais livre é o *sistema aleatório*, o qual não define, previamente, nenhuma das etapas (BOMFIM, 1995).

A falta de predição das relações existentes entre as distintas partes do problema vai se constituir em uma dificuldade real para a criação de um *sistema linear*. Lukman (*apud* JONES, 1978) demonstrou, através do *Método AIDA* (*ver* 4.3.2.2 - iii) que a representação das interdependências entre os subproblemas não são fixas, mas variáveis, dependendo da eleição da sub-solução para cada subproblema. Esta dificuldade vai determinar uma estrutura instável que, conseqüentemente, complicaria a tomada de decisão crítica que faz inútil a condução da solução do problema de maneira única, através de uma seqüência linear.

A constituição de um novo problema, num sistema linear, vai estar determinada por duas perspectivas. A primeira intenção, no caminho da linearidade, está na conversão do problema em um projeto de sistema de fluxo, contendo componentes padronizados e intercambiáveis, sendo definidos um para cada função relevante. Desta maneira, as dependências e incompatibilidades entre os conjuntos de componentes e os detalhes destes, ficam limitados à regras previsíveis e estáveis que governam a união entre componentes padronizados. Graças a esta definição de regras, a geração de conjugações alternativas com o método de caixa transparente é possível. Também se consegue passar para outro nível a circularidade, que não desaparece, mas não atinge este nível básico.

A segunda possibilidade de gerar uma linearidade está nos métodos de estratégias de adaptação, tendo como característica comum a adição de uma investigação mais ampla, antes ou durante o processo de caixa transparente. As ações de investigação podem ser consideradas como *etapas preditorias*, que determinam o grau de viabilidade dos *outputs* de cada etapa em um processo de caixa transparente. Aqui apresenta-se uma inversão do processo normal em começar com as principais características do produto para logo passar aos detalhes, em outras palavras, o *out-in* vira um *in-out*. Desta maneira se evita o requerimento irreal dos teóricos, no qual os objetivos e critérios devem ser fixados antes de se considerar os detalhes.

#### **b) Sistema auto-organizado**

Na proposta de primeira geração, Bomfim (1995) define o método de *Controle* como um processo de autoregulação e controle da estratégia adotada, a partir dos objetivos traçados inicialmente. Sob esta ótica de *controle sobre o processo de design*, o designer é considerado como um *sistema auto-organizado*, tomando em conta sua capacidade de encontrar atalhos num campo inexplorado (JONES, 1978).

Os sistemas previamente apresentados, caixa preta e transparente, ao ampliar-se os horizontes da pesquisa, podem apresentar certas situações, nas quais trarão dificuldades pelo grande número de alternativas geradas. Nessas situações, o *designer* não pode recorrer a uma atitude intuitiva de caixa preta, nem acelerar o processo com o uso do computador. Ante tal situação, o uso de novos métodos pode ser abandonado, fazer uma escolha arbitrária para aplicar no computador, ou tentar avaliar todas as alternativas indefinidamente. Enfrentando esta tricotomia se pode optar por direcionar a solução do problema na busca do *design* adequado à situação apresentada, ou fazer um controle de estratégias. Uma vez efetivadas estas duas etapas poder-se-ia passar a replanejar a busca de alternativas, através do uso de critérios externos com uma investigação parcial, na procura

de atalhos no campo desconhecido. Tudo isto será válido caso o controle das estratégias gere um modelo preciso, constituído da própria estratégia e da situação externa que o design está tentando fixar. O entendimento das relações do *design*, as situações que o influenciam, bem como as estratégias, podem ser compreendidos com a criação de uma *metalinguagem*.

Os critérios adotados para o controle de um projeto compreendem: a identificação e a análise de decisões críticas; a relação dos custos de investimento e *design* com as punições por uma tomada de decisões errada; o acoplamento das atividades de *design* com as pessoas que as executarão; a identificação das fontes válidas de informação, as quais são avaliadas previamente antes da busca da informação crítica; e a exploração da interdependência entre produto e entorno.

#### 4.3.1.2. Métodos de Segunda Geração

O entendimento dos métodos de *segunda geração* ou **Caixa Preta**, pode levar a uma definição pouco objetiva, pois é simples. O processo passa por uma etapa onde se conhece os *inputs*, e após passar por esta *caixa preta*, se toma conhecimento dos *outputs*, sem chegar a saber com certeza o que acontece dentro desta etapa, e sem esquecer que os resultados obtidos não são as alternativas definitivas para a solução do problema apresentado entre produto e usuário (BOMFIM, 1995).

#### Caixa Preta

Esta perspectiva vai trabalhar com a criatividade e concebe o *designer* como uma **caixa preta** (*Black Box*) por contemplar que, dentro dela, acontece o salto criativo.

Considerando a *caixa preta* como um processo, surgirá, como parte prioritária no processo de *Design*, o uso da mente do designer, a qual parcialmente se encontra fora do controle consciente. É a partir deste último detalhe que pode ser considerado este tipo de processo pode ser considerado como algo irracional, tomando em conta que o *designer* é como qualquer outro ser humano, com a capacidade de dar respostas ou *outputs* a estímulos, de uma forma satisfatória sem saber explicar como é que se obteve esse resultado. A explicação das ações humanas só podem ser entendidas se explicadas da perspectiva de uma rede neural que as governa e que em grande parte não há intervenção do pensamento consciente. É, por tanto, racional crer que as ações hábeis estão inconscientemente controladas e *irracional* esperar que o design possa ter uma explicação totalmente racional ( JONES, 1978).

Newmann (*apud* JONES, 1978) apresenta o cérebro como uma rede que vai se

adequando aos *inputs* - estímulos externos, adotando rapidamente um modelo compatível a informação recebida. Já Barlett (*apud* JONES, 1978) acrescenta que as experiências passadas são remodeladas cada vez que são usadas.

Assim, se pode pensar no cérebro humano como um aparelho semi-automático capaz de resolver problemas baseando-se tanto nos *inputs* atuais como nos passados. Sendo assim, o *output* do cérebro está condicionado por situações atuais e passadas. Em outras palavras, a experiência prévia pode gerar um melhor *designer*. Isto esclarece, de uma maneira não muito evidente, que o tipo de *inputs* pode diminuir a variedade de *outputs* que um organismo é capaz de produzir. Nesta situação as experiências passadas vão adquirir prioridade, suprimindo o menor número de *inputs*, trabalhando na resolução das presentes experiências.

Pode-se assumir que um excesso no uso de experiências passadas pode criar uma inflexibilidade mental, limitando a criatividade, porém, de outra perspectiva poder-se-ia dizer que a falta de experiências passadas faria com que o cérebro não tivesse a atividade necessária para resolver os problemas. Na colocação de Jones (1978), talvez não seja questão de ter ou não ter as experiências passadas, mas de conciliar uma ótima dose de sorte na mistura destas com as neuroses, tal que seja capaz de resolver um tipo determinado de conflito existente numa situação de *design*.

Dentro da perspectiva de *caixa preta*, apresentam-se dois métodos que podem ser considerados “clássicos”, que trabalharão diretamente com os processos mentais e inconscientes da pessoa: o Brainstorming e a Sinestesia.

O **Brainstorming** ou desencadeamento mental, baseia-se numa exteriorização livre de todas as idéias possíveis (independente de sua compatibilidade), vinculadas a um determinado tema, na qual a crítica está excluída. Caso se apresente uma atitude de inibição nos *outputs*, será necessário um incremento da quantidade, mas não da qualidade dos *outputs*. Este processo se caracteriza pela alta velocidade de criação de propostas iniciais, quando o problema em questão não está estruturado ou bem definido. A maior utilidade do processo encontra-se na introdução de toda esta informação inicial na caixa preta de uma pessoa, a qual classificará as idéias em um modelo coerente.

O processo de **Sinestesia Sinética**<sup>32</sup> define-se como a relação subjetiva estabelecida espontaneamente entre uma percepção e outra, pertencentes a domínios distintos. Entenda-se como a associação feita entre dois conceitos totalmente distintos,

---

<sup>32</sup> Esta palavra derivada do grego, que significa unir elementos aparentemente diferentes ou não relacionados entre si. Como técnica, foi desenvolvida por William Gordon (1957, *apud* BAXTER, 1998) como aperfeiçoamento da técnica de Brainstorming.

como luminosidade e som, onde se pode pensar que uma luz evoque um determinado som. A finalidade deste método é a orientação da atividade espontânea do cérebro e do sistema nervoso para a exploração e transformação de problemas de *design*.

A partir deste conceito, a aplicação em um modelo pode ser vista como a retroalimentação do *input* de uma caixa preta através do *output* da mesma, mas escolhendo adequadamente as analogias apropriadas que permitam transformar os *outputs* em *inputs*. O uso de analogias é crucial para relacionar esta exteriorização mental com o problema apresentado, apoiando-se em quatro tipos de analogias:

- Analogias diretas - *Realista*; busca de uma solução biológica para um problema similar.
- Analogias pessoais – *Corporal*: o usuário faz uso do mesmo corpo para a análise.
- Analogias simbólicas – *Abstrata*: são as metáforas poéticas ou similares nas quais os aspectos de um elemento identificam-se com os de outro.
- Analogias Fantasiosas – *Irreal*: é o desejar ou imaginar coisas não existentes.

Desta maneira, pode ser afirmado que no processo de *caixa preta* os *outputs* de um *designer* vão estar condicionados pelos *inputs* da própria experiência dele, bem como por aqueles impostos pelo próprio problema. O fator de velocidade do processo em gerar *outputs* vai estar determinado pelas condições proporcionadas para a assimilação e manipulação dos *inputs*, embora possam passar períodos longos sem que apareçam *outputs* até que o salto se dê, transformando o problema complexo em um simples. Finalmente, como em todo processo, uma boa iniciação trará resultados bons, a correta introdução da estrutura do problema à caixa preta vai incrementar a possibilidade de obtenção de *outputs* adequados para o problema apresentado.

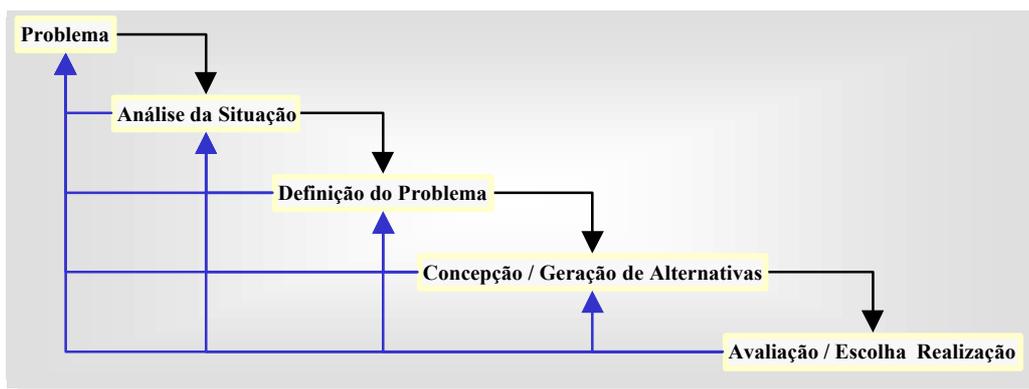
Complementando os processos metódicos anteriores, existem as chamadas ***Técnicas de Exploração do Processo Criativo*** como: *Brainstorming* (*previamente definido*), em suas diversas variantes; *Biônica*, e sua imitação de formas naturais; e a *Sinética*, que trabalha com analogias. Também se tem as ***Técnicas de Exploração do Processo Lógico*** como: *Matriz de interação e restrição*; *Rede de interação e restrição*; *Semi-grupo hierárquico*; *Análise de Funções*; *Diferencial Semântico*, o qual vai determinar através de experiências empíricas o valor do objeto real em relação do objeto ideal; e *Caixa Morfológica*, trabalhando as funções através das suas representações (BOMFIM, 1995).

Nesta segunda distribuição de técnicas de exploração, também se encaixa a classificação dos ***Tipos de Macroestruturas do Processo Projetual*** feita por Bonsiepe, Kellner e Poessnecker (1984).

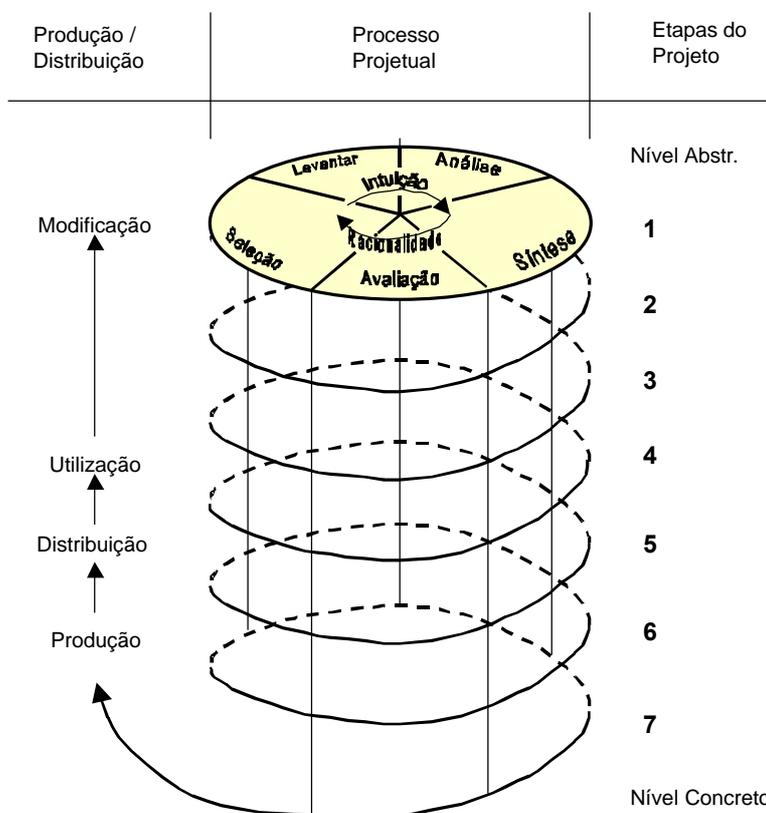
O primeiro tipo apresentado é o **Linear**, já mencionado, entre os quais se encontra o método de Bruce Archer: *A Systematic Method for Designers*. O processo está caracterizado da seguinte maneira:

**Coleção de Dados → Análise → Síntese → Desenvolvimento → Comunicação**

A segunda macroestrutura compreende o **Feedback**, exemplificada no método de Bernhard e Bürdek (*figura 4.3*).



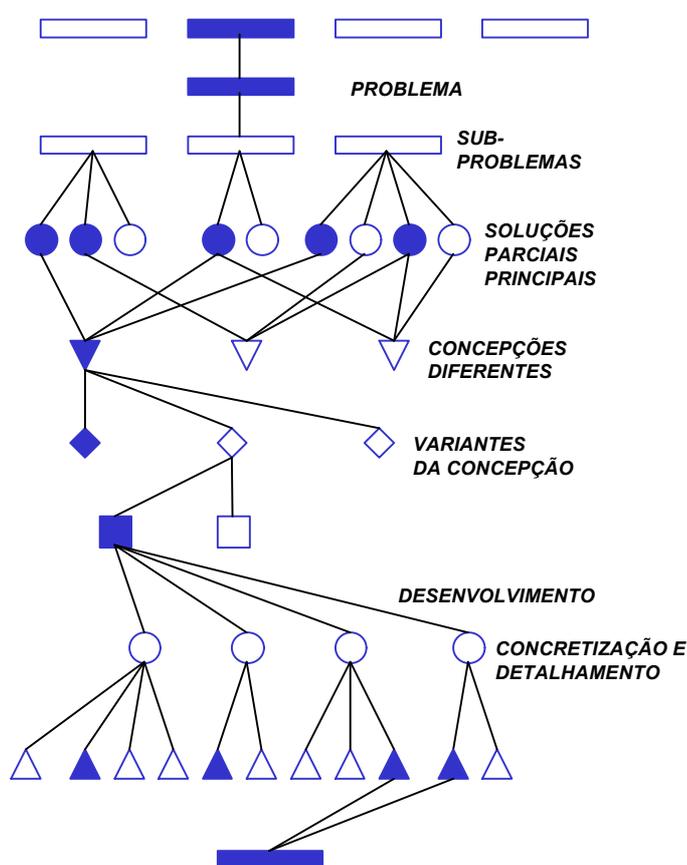
**Figura 4.3** Método com *Feedback* de Bernhard e Bürdek (BONSIEPE *et al.*, 1984).



**Figura 4.4** Processo global do projeto apresentado por Borzark (*apud*, BONSIEPE *et al.*, 1984).

A terceira macroestrutura considerada por Bonsiepe *et al.* (1984) é chamada de **Circular**, visualizada na proposta de Bob Borzak (**figura 4.4**) contendo as sete fases: Percepção do Problema; Identificação inicial do Problema; Detalhamento do problema identificado; Desenvolvimento de concepções; Desenvolvimento de soluções e alternativas; Realização/Finalização da solução; Comunicação e finalizando com a Produção e Distribuição.

A quarta macro estrutura apresentada por Bonsiepe *et al.* (1984) visualiza o processo projetual como um processo interativo de geração e redução de variedades, iniciando-se com a problemática até fechar com o projeto, exemplificado na **figura 4.5**.



**Figura 4.5** Método de cálculo e construção de um novo produto (BONSIEPE *et al.*,1984).

#### 4.3.2. Os Processos de Divergência, Transformação e Convergência

A segunda forma geral de classificação apoiada na proposta de Jones (1978), detecta três características que identificam os métodos, características já apresentadas por outros autores através de processos que se iniciam com uma análise, síntese e avaliação, tudo isto

compreendido como a divisão do problema em partes. Passando, em seguida, por um arranjo das partes do problema de outra maneira e colocando-o à prova para descobrir as conseqüências da nova organização na prática. Pode parecer difícil para alguns profissionais pensar nesta desintegração, porém, é um passo necessário para logo dar lugar à mudança de metodologia indispensável para cada etapa, antes de reintegrá-los e conformar o processo que funcione bem, em nível de sistema. É assim que a classificação se apresenta em três etapas ao ver o *Design* como um processo: divergência, transformação e convergência.

#### 4.3.2.1. Divergência

Esta etapa tem como objetivo a ampliação dos limites da situação de *design*, bem como a obtenção do espaço suficientemente amplo e frutífero para a busca de uma solução. As características apresentadas por esta etapa consideram que:

- ➔ os objetivos são instáveis e experimentais;
- ➔ o limite do problema é instável e indefinido;
- ➔ a avaliação é adiada, prestando atenção a todos os dados inclusive aqueles conflituosos;
- ➔ os pontos de partida são colocados pela pessoa;
- ➔ o *designer* deve ter como intenção gerar a maior hesitação, apagando toda solução preconcebida, para poder criar um pensamento adequado;
- ➔ finalizando está a análise da sensibilidade, como conseqüência das mudanças de objetivos e limites do problema em diversas direções e graus, dos elementos envolvidos.

O procedimento adotado nesta etapa também pode ser entendido como a destruição da ordem inicial enquanto se identificam as características da situação de *design* que permitirão um grau de mudança considerável e factível. E vai acompanhada da análise da estabilidade ou instabilidade de tudo o que está conectado com o problema, o que é susceptível de mudança e o que se pode considerar como pontos fixos de referência. Nesta etapa não vão surgir idéias, evitando-se a imposição prematura de modelos, pois apoiando-se em métodos com ações intuitivas e racionais, que requerem um trabalho prático, precisam da maior liberdade de expressão possível.

Jones (1978) apresenta um primeiro grupo de métodos e técnicas para este processo de divergência, no qual são exploradas as situações de *design*.

##### a) Métodos e técnicas de exploração de situações de *design*

i. *Definição de objetivos*. Sua finalidade será a identificação das condições externas com as

quais o *design* deve ser compatível. Ao mesmo tempo não pode ser feita uma colocação definitiva dos objetivos já que, ao depender das opiniões humanas, deixa aberta a possibilidade de alterações em função da ineficácia da predição da atitude humana. O método é útil quando a experiência dos usuários é pequena.

**ii. *Investigação da literatura.***

**iii. *Investigação das inconsistências visuais.*** Vai orientar em que sentido possa procurar-se o aperfeiçoamento do projeto, partindo de uma análise visual do projeto existente. Assim pode ser colocado que o objetivo deste método é a identificação dos conflitos do projeto com condicionantes passadas e tentar evitá-los mais adiante.

**iv. *Entrevista com usuários.***

**v. *Questionários.***

**vi. *Investigação do comportamento do usuário.*** A função orienta-se na exploração dos modelos comportamentais e prediz as limitações de ação dos usuários potenciais de um novo *design*.

**vii *Ensaio sistemático.*** Tem como alvo a identificação das ações capacitadas para produzir as modificações desejadas em situações complexas difíceis de ser entendidas. Inicia-se com a identificação das características indesejáveis do assunto pesquisado, identificação das fontes de comportamento muito variáveis. Em seguida, passa-se para uma aplicação e registro dos efeitos das condicionantes dos comportamentos variáveis, tanto para as características indesejáveis como para as características desejáveis. E, finaliza com a seleção só daquelas condicionantes menos prejudiciais e complicadoras como elementos de planejamento e obtenção das mudanças desejadas.

Como nenhuma situação é igual a outra, posteriormente executada, os resultados obtidos são de aplicação única. Por outro lado, sua aplicação não envolve elementos mais sutis do procedimento, elementos que aparecem à medida que ele é repetido.

Este método é útil quando existem dúvidas sobre a identidade e as relações entre causa e efeito da situação real, evitando o uso de modelos separados, de cálculo ou linguagens de problemas.

**viii. *Seleção de escalas de Medição.*** O procedimento adotado parte da criação de uma relação das medições e cálculos com as incertezas da observação, dos custos da coleta de dados e os objetivos do projeto de *design*.

Considerando-se que a medição não é um método de *design*, e é necessário para a aplicação de uma metodologia ter um recurso de medição. A adaptação dos princípios da

medição ao *design* se dá através dos seguintes aspectos:

- ➔ As medições críticas do *design* são aquelas que vinculam com maior proximidade os objetivos e os critérios.  
São vários os métodos que precisam de um conhecimento básico da escala de edição para seu entendimento.
- ➔ Parece que há um desconhecimento das escalas, salvo pela proporção e, isto se deve, talvez, por que nos níveis superiores, nos quais o uso de escalas mais fracas seja apropriado, estas estão sendo substituídas pelo sentido-comum e pela experiência.
- ➔ Um aspecto deixado de lado pela literatura referente a métodos de *design* é a dependência do cálculo sobre a medição e a idéia de equilibrar a exatidão em função do custo e da penalização.

**ix Registro e redução de dados.** Seu objetivo é a dedução e colocação em evidência dos modelos comportamentais dos quais dependerão as decisões críticas do *design*. Outro de seus objetivos é evitar a falta de habilidade de um *designer* para descobrir, seja por sua experiência ou por inspeção direta, os modelos críticos e as magnitudes dentro da situação em que o *design* deve atuar. É sempre importante ter uma idéia prévia do objetivo que se persegue ao coletar e analisar dados. Por outro lado, não se pode passar a uma redução de dados quando as referências, tamanho físico e escala de tempo da situação analisada estão longe do traçado pelo *designer*.

Em uma *segunda classificação* (JONES, 1978), são apresentados métodos e técnicas que são úteis tanto para o processo divergente quanto para o processo de transformação, dependendo da complexidade e exigências do *design*, assim tem-se:

#### **b) Métodos de investigação de idéias**

**i. Brainstorming.** (visto em 4.3.1.2). Baxter (1998) vai apresentar uma variante deste método, chamado de *Brainwriting*. A diferença entre o *Brainwriting* e o *Brainstorming*, está na execução por escrito, o que vai garantir um pouco mais de variedade na criatividade do processo.

**ii. Sinestesia.** (visto em 4.3.1.2).

**iii. Desaparecer com o bloqueio mental.** Orienta-se na procura de novas diretrizes quando o espaço de busca não tem fornecido soluções totalmente aceitáveis. Na busca das regras aplicáveis às soluções insatisfatórias, esta técnica investiga as relações existentes nas soluções insatisfatórias, finalizando com uma reorganização da situação e substituição dos elementos incompatíveis com outros alternativos.

**iv. Quadros morfológicos.** A intenção desta proposta é a de ampliar o campo de pesquisa de soluções para o problema de *design*. Trabalha com a escolha das funções essenciais e que sejam independentes entre elas. Em seguida, monta uma lista de sub-soluções, concluindo com a escolha das sub-soluções apropriadas para cada função.

Os quadros morfológicos tentam forçar o pensamento divergente, evitando passar por alto novas soluções a um problema de *design*. Sua principal vantagem está no curto tempo que leva completar uma matriz. Sua principal dificuldade encontra-se na identificação de uma série de funções: a) essenciais para qualquer solução, b) independentes entre si, c) que incluam todas as partes do problema, d) suficientemente poucas em número para a obtenção de uma matriz que possa investigar-se em pouco tempo ( JONES, 1978).

Há evidências que levam a pensar que o usuário deve ter conhecimento e imaginação daquilo que o quadro revelará, pelo nexos existente entre a habilidade de identificação das funções e a capacidade de rever as possíveis soluções no instante da classificação mental. Tudo isto vai exigir um conhecimento da estrutura do problema, elemento não fornecido pelo método. Sua aplicação a problemas indefinidos e ilimitados traz também um alto grau de complexidade na definição das funções.

#### **4.3.2.2. Transformação**

Nesta etapa do processo será elaborado o modelo pelo qual serão executadas as modificações e alterações. Segundo Manheim (1967, apud JONES, 1978) neste período não pode ser obtida uma solução ótima, mas sim uma investigação ótima. Este ponto é importante pois trata de implementar as condições necessárias para executar as modificações pertinentes num projeto, através de uma pesquisa aprimorada visando atender os futuros requerimentos e condicionantes. Nesta etapa, são usados os chamados métodos de investigação de idéias e de exploração da estrutura do problema.

As características apresentadas, que definem este processo, contemplam:

- ☛ Impor à investigação divergente um modelo, que seja suficientemente preciso para convergir o processo até aí executado para um único *design*, previamente definido e detalhado. O modelo considerado para ser aplicado deve refletir o melhor possível a realidade do *design*, sendo a elaboração do modelo uma atitude criativa, fará com que este problema seja suficientemente simples e claro para ressaltar os aspectos mais importantes.

- Outra consideração importante é que, nesta etapa, serão definidos os objetivos, especificações, variáveis, condicionantes e todo elemento que sirva para detalhar o projeto para seu futuro desenvolvimento.
- Nesta etapa se procede a divisão do problema em subproblemas, para verificação de sua solução em paralelo ou em série, sendo que em paralelo poderão ser executados várias ações em simultâneo; já em série, uma ação precede a outra. Também será definida a *linguagem do problema*, constituída pela simbologia e vocábulos criados para interpretar as ações do problema. Exemplos desta divisão do problema em subproblemas são os métodos de Rede, SAFE (*Sequential Analysis of Function Elements*), FAST (*Functional Analysis System Technique*) apresentados por Tassinari (1995).
- Existem dois requerimentos importantes referentes aos *sub-fins*. O primeiro vai priorizar a liberdade de mudança dos *sub-fins*, com o objetivo de encontrar as possíveis alternativas sem maiores compromissos, mudança que significa pular de um *design* para outro, o que trará um atraso na retroalimentação da experiência. A rapidez do *feedback*, sob a ótica tradicional do *design* de produto, está garantida pelo juízo do *designer*. Já em nível de sistema, esta mudança de sub-fins vai comprometer a análise dos componentes e produtos alternativos, dificultando o prognóstico da viabilidade através das experiências ou esquemas. O segundo requerimento refere-se à velocidade com que se possa prever as conseqüências e a viabilidade da escolha dos sub-fins.

Jones (1978) chama de *Métodos de exploração da estrutura do problema* àqueles empregados para a transformação, entre os quais apresentam-se:

**i. Matriz de interações.** Permite uma pesquisa sistemática de conexão entre os diversos elementos de um problema, para o qual serão definidos os termos “elemento” e “conexão”, e a partir de uma base objetiva, definir a existência ou inexistência de conexões entre cada par de elementos.

Este modelo é um dos mais úteis no design, sendo seu valor principal, o fornecimento de um meio de formalizar as idéias.

Como toda proposta, esta apresenta deficiências: alta probabilidade de erro no momento de anotar as conexões entre os elementos analisados; limitação no valor das matrizes - naquelas em que todos os elementos e conexões não estão definidos; e uma dificuldade quando os elementos não possuem um mesmo nível de hierarquia ou pertencem a famílias diferentes.

**ii. Rede de interações.** Sua função está orientada à exposição do modelo das conexões dos

elementos de um problema de *design*. Assim como no método anterior são definidos os termos “elemento” e “conexão”, usa-se uma matriz de interações para fazer uma descrição dos pares de elementos a serem conectados. Em seguida, passa-se a uma representação gráfica dos elementos como pontos e suas conexões como linhas, para logo com um ajuste das posições dos pontos, minimizar as linhas e clarificar o modelo de rede.

A vantagem deste método sobre a matriz é a fácil percepção dos modelos de redes e conseqüentemente a compreensão do problema. Esta vantagem vai facilitar a assimilação por parte do cérebro, sendo sua maior desvantagem quando usado para mais de 15-20 elementos.

**iii. AIDA (*Analysis of Interconnected Decision Areas*).** A função apresentada vai identificar e avaliar todas as séries compatíveis de sub-soluções a um determinado problema.

Considerado por Jones (1978) como um dos métodos mais poderosos, por sua capacidade de reduzir o tempo perdido no ciclo e reciclagem na solução de um problema e diminuir o risco de passar por alto uma série compatível que possa resolver aquilo que parece um conflito sem condições de ter opções válidas.

Às vezes, pela dificuldade resultante em tentar dividir um problema em partes, o mais apropriado é partir de uma solução convencional e retroceder na tentativa de identificar as áreas decisórias.

Sua aplicabilidade é mais prática em problemas que precisem de pequenas modificações de *design* prévias, embora não seja necessária a existência prévia de uma estrutura estável do problema.

Sua maior diferença com o quadro morfológico, encontra-se em que este método só vai considerar as possibilidades factíveis em lugar de todas as possíveis.

**iv. *Transformação do sistema.*** Procura encontrar os caminhos para mudar um sistema insatisfatório e sumir com suas falhas inerentes.

Uma das dificuldades apresentadas por este método é que toda mudança trará modificações nos componentes que conformam o sistema, passando a trocar elementos que dão estabilidade ao sistema, o que dificulta a operação, com todas as conseqüências que envolve. Estas mudanças trarão consigo muitos nexos que nem sempre são susceptíveis de ser trocados rapidamente e de forma eficiente. Além disso, a inserção de uma nova proposta vai requer o gasto de um agente administrador bem como reforçar a idéia de que a nova proposta trará benefícios e a reeducação dos agentes que intervém.

**v. *Inovação por mudança de limites.*** Este método traz como proposta a mudança dos limites do problema que ainda não foi resolvido e, posteriormente, traz novos recursos externos que contribuam a sua solução. O procedimento baseia-se na identificação funcional do elemento e nos conflitos apresentados dentro dos limites do problema, seguido de uma busca por fora destes limites, finalizando com uma procura de sub-soluções compatíveis com o problema e que permitam incorporar o máximo de recursos.

As limitações apresentadas incluem a limitação do campo de trabalho por parte de funções gerais, como entrar em áreas que requeiram maior especialização, uma reestruturação do problema a partir de outro campo, a decisão entre as dificuldades críticas e as secundárias.

**vi. *Inovação funcional.*** A finalidade está na obtenção de um *design* radicalmente novo, com a capacidade de criar novos modelos de comportamentos e demandas. O agir neste caso ataca as funções essenciais, subdividindo-as e tentando inserir um novo elemento. Importante é a definição de invenção, entendida como uma idéia que mostra ser factível fisicamente, de outro lado a inovação e, além de ser uma idéia viável fisicamente, também criará uma nova demanda.

O método permite a busca por uma idéia, independentemente se esta for viável ou não fisicamente e independentemente de sua resposta socio-econômica.

**vii. *Métodos de determinação de componentes de Alexander.*** Destina-se a encontrar os componentes físicos corretos de uma estrutura igualmente física. Esta mudança se dará de tal maneira que cada componente poderá alterar-se independentemente para ajustar-se à futuras requisições de mudanças do ambiente.

A intenção do método é de superar as dificuldades fundamentais do *design*: a predição e percepção do modelo de relações produzidos por um aparelho na sua utilização. A proposta ambiciosa de Alexander tenta extrair do cérebro o processo complexo de previsão dos modelos e seu reconhecimento intuitivo.

Carateriza-se como um dos ensaios mais complexos e ambiciosos do *design* sistemático e pode ser desenvolvido como um procedimento real, porém de limitada utilidade. Como ponto forte e positivo, auxilia aos *designers* na percepção das conexões entre: a) as soluções que se previnem, e b) os possíveis modelos do problema total.

Sua aprendizagem exige o conhecimento da teoria gráfica e a capacidade de modificações se a situação o requerer. Também se precisa de uma alta habilidade taxonômica, para pensar no problema de forma altamente abstrata e propor um grande número de requerimentos ao mesmo nível hierárquico, sem incluir a outros. O método

parece ser de alta utilidade para vários métodos de *design*, sobretudo para os métodos de exploração da estrutura de um problema.

**viii. Classificação da informação de design.** Seu objetivo mais claro é dividir um problema de *design* em partes de fácil manuseio. Ao ser dividido, o problema, vão ser criadas categorias num primeiro estágio de exploração da situação do *design*, servindo como estrutura para as classificações posteriores, divisões em série ou paralelo e como tentativa de identificação das variáveis e de suas relações mútuas.

O método é mais apropriado para temas novos e sua aprendizagem requer um conhecimento taxonômico. A definição sugerida por Miller (1967) sobre **Taxonomia** sugere um meio de classificação dos objetos ou fenômenos, de forma que se estabeleçam relações úteis entre eles.

#### 4.3.2.3. Convergência

Esta etapa pode ser considerada como mais próxima ao *design* total, com característica de mais automatizada, podendo ser uma etapa que tenha uma participação mínima ou nula de pessoas. Neste caso, o *designer* tem como atingir uma única alternativa entre as possíveis apresentadas através de uma redução progressiva de incertezas secundárias até chegar a uma solução final que é colocada à vista.

A etapa faz maior uso das etapas chamadas de pré-fabricadas e em especial os métodos: Investigação Sistemática, Investigação dos Limites, Estratégia Acumulativa de Page, Classificação e Ponderação e Especificações escritas. Estes são conhecidos como métodos racionais – *caixa transparente* – que permitem uma iniciação automatizada.

As características apresentadas por esta etapa são:

- ➔ É importante a inflexibilidade do pensamento e do método para eliminar a flexibilidade e as ambigüidades. A decisão importante que deve ser tomada refere-se à ordem de produção das decisões, que é inversa à ordem de dependência lógica, produzindo uma estratégia linear e sem reciclagem;
- ➔ Uma grande dificuldade está na impressão dos subproblemas críticos ou insolúveis, a menos que seja mudada a primeira decisão, conseqüentemente, causando uma reciclagem. Baseado na sua capacidade de transformação mágica, é conveniente que o problema seja remodelado de maneira tal que permita que os subproblemas sejam adiantados ou evitados, através de uma atuação em nível mais geral;

- Os modelos empregados nesta etapa são menos abstratos e mais detalhados. Aqui o uso de desenhos e protótipos são mais adequados;
- As estratégias fundamentais adotadas são de dois tipos: *out-in* - trabalhar do geral para as partes, e *in-out* - trabalhar das partes para o geral.

Na idéia dos atomistas, a solução dos subproblemas é considerada como independente de sua forma de combinação.

Finalmente, pode ser definida a convergência como a redução de uma gama de possibilidades a um único *design*, da maneira mais simples e barata que possa ser obtida, sem a necessidade das retiradas imprevisíveis ou da reciclagem. Desta maneira, constitui-se o único aspecto do *design* que pode ser explicado racionalmente e susceptível de uma verificação. Embora tenha uma interpretação racional no processo de atingir à última etapa, a presença de dúvidas leva a considerar uma geração de roteiro inadequado para uma próxima tentativa.

Jones(1978) apresenta alguns métodos para esta etapa, dividindo-os em três grupos:

#### a) Métodos de avaliação

**i. Lista de dados.** Este método tem como objetivo a capacitação do *designer* no uso do conhecimento dos requerimentos que têm sido considerados adequados para situações similares àquela que vai ser analisada. Este procedimento baseia-se em dirigir o *designer* “*fora de*”, mais que “*no sentido de*”, a uma nova solução imaginativa.

**ii. Critérios de seleção.** Tem por objetivo decidir os meios através dos quais se possa reconhecer um *design* aceitável. Parte com uma definição de objetivos a serem satisfeitos pelo chamado *design* aceitável, para logo determinar o caminho seguro. Seguidamente verificar a conseqüência de um desvio, e a definição de uma condição do setor de segurança entre o *design* aceitável e o não aceitável e, a partir daqui, determinar o critério que esteja nesta margem de segurança. O processo é repetido para cada objetivo traçado.

O critério mensurável para definir objetivos é de enorme utilidade, porém ao ser tão rígido, assumindo valores reais, por um lado limita a área de trabalho e, por outro esta limitação poderia ocultar ao *designer* a possibilidade de relacionar um objetivo com outro. A seleção dos critérios está baseada no operacionalismo, no qual “tudo aquilo que não pode ser medido não existe”.

A seleção de um critério operacional é essencial para uma prática de *design*, sendo muito útil quando os objetivos primários são intangíveis.

A dificuldade apresentada por este método encontra-se no passo dos objetivos e ideais a uma realidade mensurável, pois precisa de uma precisão científica e flexibilidade artística, assim como a experiência acumulável do usuário, além de que é pouco provável que numa primeira tentativa tenha um funcionamento ótimo, susceptível de levar um bom tempo para sua execução.

**iii. Classificação e ponderação.** Sua finalidade principal está na comparação de uma série de alternativas de *design* sob uma escala de medição comum, usando, se for preciso uma matriz e aplicando dois tipos de conversões:

- ➡ em caso de objetivos classificados: as medições ou estimações em porcentagens;
- ➡ em caso de objetivos ponderados: em valores dos números de índice.

Um ponto relevante é a eleição da escala numérica apropriada, pois em questões matemáticas elas trabalham melhor para objetivos de baixa ordem do que de alta ordem. Sua utilização está restrita a situações nas quais sua influência não seja comprovadamente prejudicial, pois desde um ponto estritamente técnico não tem muita validade.

**iv. Especificações escritas.** Ao relatar as especificações se faz uma descrição de um resultado aceitável para um *design* que vai ser produzido. O procedimento vai incluir uma identificação provisória de diversos resultados em diferentes níveis de generalidade, escolhendo-se aquele com a menor generalidade, fornecendo ao *designer* a liberdade suficiente para projetar o que resultado não referenciará as possíveis mudanças e sim as medidas de execução predizíveis.

A dificuldade que este procedimento apresenta está aparentemente na necessidade de relacionar as especificações com os objetivos fundamentais e ao mesmo tempo manter um adequado e consistente nível de generalidade.

**v. Índice de adequação de Quirk.** A finalidade apresentada por esta proposta está na capacitação do *designer* inexperiente na identificação de componentes inadequados a um produto, sem a necessidade da comprovação.

## **b) Estratégias pré-fabricadas**

**i. Investigação Sistemática (Aproximação à teoria da decisão).** Trata-se de um método que trabalha com a certeza lógica, fazendo uma identificação dos componentes do problema e das relações das variáveis, dando valores as variáveis, passando a uma identificação das relações existentes entre elas para logo, através de seleção das variáveis determináveis, poder construir a maior combinação de valores dos objetos ponderados para o *design* em questão. Este método só será possível quando as variáveis puderem ser

identificadas, tangíveis e mensuradas, assim como quando o sistema for estável e não há intenção de afetar as hipóteses e nem fazer inovações.

Este método dispensa o uso da habilidade humana, sendo um processo com muitas retroalimentações e é mais apropriado para aplicações com uso de computador, pelo elevado uso de cálculo matemático. Há momentos em que o uso da investigação sistemática manual é mais efetiva que o uso da intuitiva manual.

Um dos inconvenientes é que as variáveis talvez não sejam independentes das decisões posteriores, como se pensa e, caso sejam sempre independentes, vão limitar a liberdade de escolha. Por outro lado, a escolha subjetiva limitará o campo da investigação e ações futuras (BEER, 1966 *apud* JONES, 1978).

Uma maneira de usar este sistema é estabilizando o contexto para criar as condições apropriadas e a outra forma é atuar segundo as condicionantes externas.

**ii. *Análise de Valores.*** Visa incrementar a importância da aprendizagem das organizações do *design* e fabricação, na redução do custo de um produto.

É uma estratégia pré-planificada de ramificação para o *design* de um produto, que visa otimizar todo o processo de desenvolvimento de produto, procurando dar ênfase aos elementos de execução, de mais baixo custo, para cada função.

Sua aprendizagem precisa de uma metalinguagem, o que leva um bom tempo, e está orientada a pessoas com conhecimento de produção, contabilidade, custos, etc.

**iii. *Engenharia de Sistemas.*** Visa obter a compatibilidade interna entre os componentes de um sistema e a compatibilidade externa entre o sistema e seu ambiente.

O método vai especificar os *inputs e outputs* que possam ser transformados com uma rede de funções para logo projetar ou selecionar os elementos físicos para executar cada função definida, sendo este um estágio de alta segurança no que se refere a resultados, pela precisão feita na definição dos *inputs e outputs*, finalizando com a costumeira verificação de compatibilidade.

Sua aplicação é apropriada quando se pretende obter um trabalho que reúne vários elementos standardizados existentes e mais quando o serviço se terceiriza. Também pode ser confusa na aplicação de conjuntos muito integrados no qual o objeto sofre mudanças constantes na maneira de subdividir as funções. Seu maior defeito está no elevado custo das incompatibilidades que não são detectadas no início e aparecem posteriormente.

**iv. *Design do sistema humano-máquina.*** Visa obter a compatibilidade interna entre os componentes humanos e os da máquina de um sistema, e a compatibilidade externa entre o

sistema e seu entorno. A previsão do fator humano vai ser uma variável de improvisação.

Similar a outros procedimentos, vai definir os *inputs* e *outputs* assim como as funções relevantes tanto à máquina como ao ser humano, assim como os procedimentos necessários de aprendizagem, ajuda ao trabalho e *designs* humano-máquina e máquinas, finalizando com especificação das modificações feitas para gerar a compatibilidade entre eles.

A dificuldade desta técnica aplicada é de tipo conceitual, já que os poucos que destinam recursos neste aspecto têm conhecimento restrito das técnicas que reduzem os erros de novos sistemas, como a alta proporção de acidentes, o alto custo de manutenção e a inflexibilidade dos sistemas.

Uma vantagem é o *design* em paralelo dos aspectos humano e máquina, que vai poupar tempo no começo do *design*.

**v. *Investigação dos limites.*** Tem por objetivo achar os limites dentro dos quais existam soluções aceitáveis. Fará uma listagem das dimensões em questão passando a uma definição mais exata do intervalo dos valores das dimensões incertas e, através de um simulador, vai definir as dimensões limite, dentro das quais a execução especificada se possa obter.

Tem como efeito a redução de riscos de repetir o *design*, cria espaço de manobras entre as dimensões limite, minimizando os compromissos entre os requerimentos conflituosos, e gera a informação apropriada para o *design* em suas diversas versões reduzindo o custo do desenvolvimento médio.

Trata-se de um método mais experimental que lógico. Apesar de ser um método diferente da maioria dos outros métodos de *design*, tem demonstrado ser bastante útil e baseado nas experiências demonstra ter pouco risco.

Os *designers* podem optar de forma inconsciente por esta estrutura ao basearem-se nas suas experiências, porém a maior dificuldade está em que o procedimento não é registrado de uma maneira formal de passo a passo, não otimizando os recursos, sobretudo quando se trabalha em diferentes níveis na estrutura empresarial.

**vi. *Estratégia acumulativa de Page.*** O objetivo é incrementar o número de esforços *em análises e avaliações*, sendo os dois convergentes e acumulativos, e reduzir o número de esforços não cumulativos gastos em *sínteses* de soluções que possam virar falsas, ou seja, evitar fazer desenvolvimentos desnecessários de maus *designs* com a finalidade de aprender como desenvolver bons *designs*.

Tenta eliminar o número de métodos de tentativas em situações complexas, porém esta complexidade trará a dificuldade do grande número de interações existentes entre os detalhes do *design* e as decisões críticas, interações que limitam consideravelmente a utilização de uma estratégia linear. O método produz um bom controle sobre as decisões e constitui um procedimento válido para a colaboração de especialistas nas primeiras etapas do projeto.

### c) Controle de estratégias

**i. Mudança de estratégia.** Procedimento que permite ao pensamento espontâneo influenciar no pensamento dirigido e vice-versa. Inicia-se com a adoção de uma estratégia e ao executá-la vão sendo colocados em paralelo os pensamentos espontâneos, para avaliá-la depois e reiniciar a estratégia adotada. O objetivo deste procedimento é gerar modelos de pensamento espontâneo e estratégias até que eles sejam compatíveis.

Supõe-se que a maior dificuldade do *design* é a incompatibilidade entre pensamento espontâneo e dirigido, mas ela deve existir, porque o cérebro humano ao enfrentar os detalhes intrincados de forma sistemática um a um, já que a inovação pode perder-se caso não se proceda desta forma.

Este método tem como finalidade evitar a inibição de uma estratégia rígida e a falta de efetividade de um modelo muito flexível do pensamento do *design*.

**ii. Método fundamental de design de Matchett (M.F.D).** Seu objetivo é a capacitação do designer na perfeição e controle da estrutura de seus pensamentos e relacionar este modelo com todos os aspectos da situação do *design*. Pode, também, ser descrito como a aprendizagem de uma metalinguagem que expõe o modelo de pensamento e facilita a equiparação deste modelo ao modelo do problema.

Sua restrição está na solução de problemas que só podem ser resolvidos com base em experiências, pois não tem a capacidade para a busca de informação ou para a redução da incerteza através de provas e investigação científicas.

As concepções e classificações feitas por Jones, apesar de serem bastante antigas, apresentam uma distribuição dos métodos bem ampla e clara, a qual pouco tem sido modificada no tempo, não podendo ser ignorada. Sendo assim ela é complementada por colocações feitas por Bonsiepe, Kellner e Poessnecker, e propostas mais atuais como a de Bomfim.

### 4.3.3. O Processo Criativo

Em um detalhamento maior, os métodos mencionados vão ser aplicados num processo conceitual dentro do vasto processo de desenvolvimento e produção de um novo produto o qual apresenta-se como um processo contínuo como foi visto (*figura 4.4*) na proposta de Borzak (*apud*, BONSIEPE *et al.*, 1984).

Neste grande processo, como foi colocado, a parte conceitual é um fator determinante no resultado final do produto, para o qual existem métodos que trabalham diretamente no processo criativo. A criatividade pode ser considerada como o coração do design em todos os estágios em que se desenvolve o projeto, tendo a criação como elemento gerador de algo novo, visto que, na atualidade, a competitividade no mercado não pode mais se basear exclusivamente nos preços baixos, pois há uma procura por um diferencial através do design, que trará uma diferenciação nos produtos, tudo isto com um ponto de partida na criação (BAXTER, 1998).

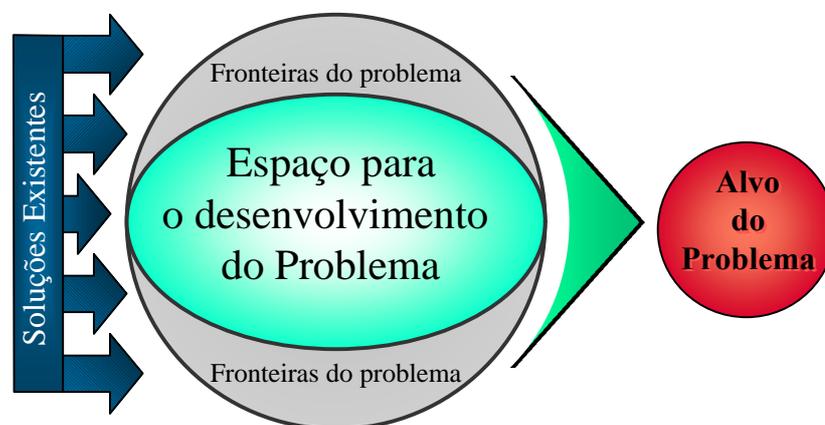
A criatividade como uma atividade mental comporta dois aspectos importantes. Primeiramente, vai considerá-lo como um processo de “incubação”, no qual se dá uma pobre colheita de informação e produção, porém esta avaliação discrepa desde a perspectiva que todo processo mental não é quantificável, pelo que é difícil avaliá-lo. Em muitas situações a pobreza apresentada é decorrente de uma sobrecarga e pressão nas idéias, que não as deixa surgir, sendo necessário relaxar um pouco, e quando não há tempo para isso, se aplicam outros métodos (BAXTER, 1998).

O segundo aspecto vai diretamente na conhecida “chispa da intuição”, momento no qual se dá uma aparição repentina gerando um câmbio de série, trazendo uma conversão do problema complexo em um simples.

Já são conhecidas as palavras de Edison ao dizer que “a criatividade é 1% de inspiração de 99% de transpiração” com o qual quis dizer que há uma necessidade de preparação da mente, fornecendo todas as ferramentas e dados, pois assim em qualquer momento, seja consciente ou inconsciente, a idéia pode surgir.

Muitas vezes no processo mental acontecem situações nas quais há uma perda de coerência no proposto, pensando-se que esta atitude é errônea, mas isto é explicado pela *bissociação* e *pensamento lateral* apresentados em Baxter (1998). Por *bissociação* entende-se uma associação entre duas idéias ridículas, carentes de coerência aparente ou princípios conhecidos que nunca tinham sido conectados anteriormente, criando uma possibilidade de gerar uma idéia criativa. Desta forma, toda idéia ridícula não pode ser descartada pois pode constituir-se em uma ‘ponte’ para uma idéia que tenha sentido. Um

elemento importante é adiar, na medida do possível, o julgamento das idéias para não interferir no processo criativo (BAXTER, 1998). Uma ferramenta considerada importante que compatibiliza com este processo *bissociado* é a *Sinética Sinestesia* (definida em 4.3.1.2).



**Figura 4.6** Visualização do espaço do problema (adaptado de BAXTER, 1998).

Mas, nem tudo o que pode ser gerado em um processo mental pode ser totalmente criativo, sendo assim a maior dificuldade apresentada é pela excessiva lógica e o apego ao convencional. Desta forma que as redes neurais, que armazenam as diversas associações que o cérebro faz (percepções, pensamentos, emoções e memórias), nem sempre são trançadas pela pessoa, quando não há uma aparente familiaridade, prejudicando a aparição de novas opções aos problemas apresentados (BAXTER, 1998).

Considerando as propostas esquematizadas do processo criativo, Baxter (1998) apresenta os “elementos-chave das diversas fases do processo criativo”, na prática (*figura 4.6*), acompanhadas das respectivas ferramentas para sua execução (*ver quadro 4.2*).

Este processo criativo inicia-se com a *preparação*, na qual os métodos vão explorar, expandir e definir o problema. A etapa de preparação compreende dois tipos de análise:

- ➡ A análise paramétrica: que apresenta as medidas quantitativas, qualitativas e classificatórias do problema.
- ➡ Análise do problema: tenta reduzir o problema a conceitos cada vez mais abstratos, como o que pergunta porque se deseja resolver o problema, esclarecendo a raiz do problema.

Para definir o espaço no qual se desenvolve o problema é apropriado trabalhar de uma forma divergente e depois convergente. Este procedimento é similar ao já colocado

por Jones (1978), definindo os limites de ação, embora não limitando as opções (BAXTER, 1998).

FASES do PROCESSO CRIATIVO	1 PREPARAÇÃO	2 GERAÇÃO DE IDÉIAS	3 SELEÇÃO DE IDÉIAS	4 REVISÃO DO PROCESSO CRIATIVO
DESCRIÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Explore, expanda e defina o problema.</li> <li>➤ Levante todas as soluções existentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pense somente nas idéias - deixe as restrições práticas para uma etapa posterior</li> <li>➤ Procure idéias fora do domínio normal do problema</li> <li>➤ Use técnicas para:               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Redução do problema</li> <li>→ Expansão do problema</li> <li>→ Digressão do problema</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Considere tanto os bons como os maus aspectos de toda idéia.</li> <li>➤ Combine idéias aproveitando as partes boas de cada uma.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Avalie o processo de solução de problemas</li> </ul>
FERRAMENTAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Análise paramétrica</li> <li>➤ Análise do problema</li> </ul>	<p><b>Procedimentos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Anotações coletivas</li> <li>➤ Estímulo grupal</li> <li>➤ Brainwriting</li> </ul> <p><b>Técnicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Análise das funções</li> <li>➤ Análise das características</li> <li>➤ Análise ortográfica</li> <li>➤ MESCRAI</li> <li>➤ Analogias e metáforas</li> <li>➤ Clichês e provérbios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Matriz de avaliação</li> <li>➤ Votação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Fases integradas da solução de problemas - FISP</li> </ul>

**Quadro 4.2** Elementos-chave das diversas fases do processo criativo e suas respectivas ferramentas (adaptado de BAXTER, 1998).

Na segunda etapa de *geração de idéias* apresentam-se três técnicas básicas. A primeira técnica é a *redução do problema*, que analisa os componentes, características e funções do problema, tentando resolvê-lo através da modificação de uma ou mais dessas características, e é reducionista porque o foco de sua atenção está exclusivamente no produto existente, não olhando além deste.

Como segunda técnica está a *expansão do problema*, explorando além do domínio do problema imediato, tentando criar um leque de alternativas maior sem limitar-se ao produto existente.

E a terceira técnica é a de *digressão do problema*, a qual foge do domínio imediato do problema, afastando-se intencionalmente do problema e estimulando as incursões

laterais – pensamento lateral – ou abordar o problema a partir de alternativas totalmente diferentes para logo aproximar-se do problema, fugindo assim das soluções convencionais.

A geração de idéias apresenta algumas ferramentas de apoio, entre elas está a *permutação das características do produto*, a qual parte de um produto existente e vai fazendo as diversas combinações possíveis a partir do seus elementos, técnica importante na fase de configuração do produto.

Também são empregadas quatro tipos de análise:

- *Análise da função do produto*: classificará de forma hierárquica as funções do produto, detectando, desta maneira, a função básica. É uma técnica muito empregada no projeto conceitual.
- *Análise paramétrica*: serve na comparação entre um produto em desenvolvimento com aqueles já existentes no mercado ou concorrentes, a partir dos aspectos qualitativo, quantitativo e de classificação. A análise pode ser aplicada nos processos finais do desenvolvimento do produto como forma de aperfeiçoar certos detalhes.
- *Análise do problema*: através do conhecimento das causas que originaram o problema se poderá estabelecer suas metas e fronteiras.
- Finalizando, o quarto tipo de análise é a *análise ortográfica*, que apresentando dois ou três atributos do produto, vai trabalhar num gráfico bi/tridimensional e explorar suas opções através de permutações, combinações, interpolações ou extrapolações, sendo uma maneira mais elaborada de fazer permutações.

O uso de *analogias* vai estimular o pensamento lateral. Entre elas tem-se a Sinética/Sinestesia já apresentada – e para criar novos produtos ou fazer profundas modificações num já existente.

Outra das ferramentas apresentadas nesta etapa é a *MESCRAI* (*Modifique, Elimine, Substitua, Combine, Rearranje, Adapte e Inverta*) constituída em uma lista como a finalidade de buscar formas alternativas de transformar um produto existente.

Já os *clichês e provérbios* compreendem o uso de ditos populares para examinar o problema sob outra perspectiva e facilitar o pensamento lateral.

A terceira etapa do processo criativo compreende a *seleção das idéias*, momento no qual as especificações do problema vão direcionar a escolha das alternativas. Por outro lado, não se pode pensar que a etapa criativa termina com a *geração de idéias*, ela continua no processo de seleção, já que aqui é onde estas idéias podem ser expandidas, desenvolvidas e combinadas na busca de uma solução melhor. Não ser usadas duas

ferramentas neste estágio, a *votação* e a *matriz de avaliação*.

Um processo não pode estar completo se não é feita uma avaliação, já que as constantes avaliações vão evitar desvios aplicando-se o método FISP (Fases Integradas da Solução do Problema) de Morris e Sashki (BAXTER, 1998). O método FISP “(...) divide o processo de solução de problemas em fases e considera cada uma individualmente. As tarefas e o processo de cada fase são avaliados numa escala de 1 a 5 .” (pp.86, BAXTER, 1998)<sup>33</sup>

O processo criativo apresentado por Baxter (1998) complementa-se com a proposta de Ulrich e Eppinger (1995) através de sua aplicação do método de seleção de conceitos em duas etapas:

**Concept Screening.** Esta etapa pode ser entendida como um processo de peneiração, filtração ou classificação de conceitos, sendo uma rápida e aproximada avaliação orientada a produzir alternativas viáveis. Baseado num método desenvolvido por Stuart Pugh chamado de “*Pugh concept selection*” (PUGH, 1990 *apud*, ULRICH & EPPINGER, 1995) tem por objetivo reduzir e aprimorar rapidamente o número de conceitos.

**Concept Scoring.** O processo caracteriza-se num avaliador mais detalhado dos conceitos, com a finalidade de escolher aquele que seja mais apropriado para conduzir ao sucesso do produto. Dá-se uma valorização ao peso relativo da importância do critério selecionado e se focaliza numa comparação mais refinada com respeito a cada critério.

As duas etapas executam os mesmos passos num total de seis:

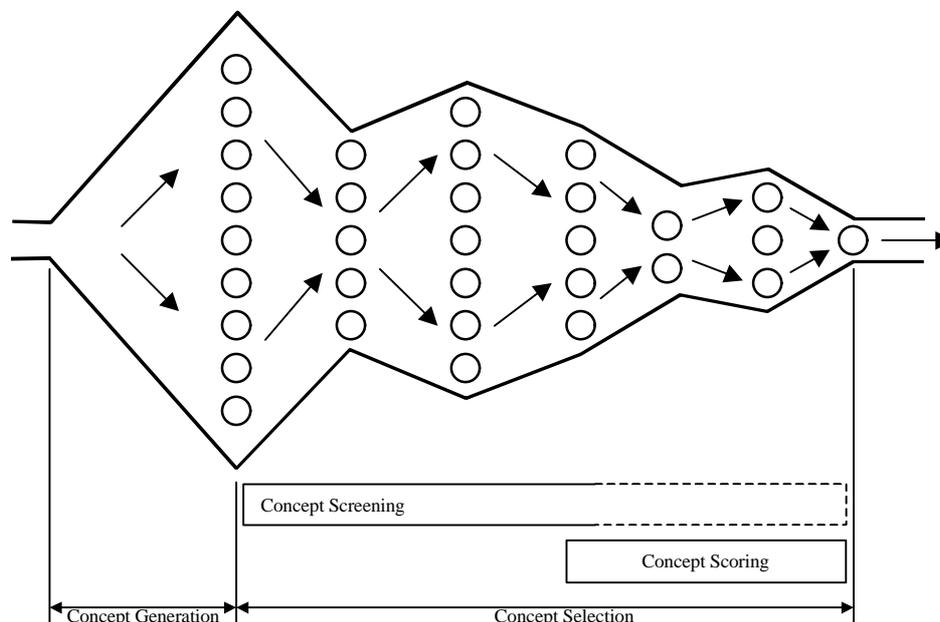
1. Preparar a matriz de seleção;
2. Dar valor aos conceitos;
3. Ordenar os conceitos;
4. Combinar e aprimorar os conceitos;
5. Selecionar um ou mais conceitos;
6. Refletir sobre resultados e processo (ULRICH & EPPINGER, 1995).

A seqüência apresentada por este processo inicia-se com o uso da matriz de classificação (*screening matrix*), no qual a comparação quantitativa é complicada, sendo usado somente um sistema de ponderação (*rating system*). Depois de eliminadas certas alternativas, se passa à pontuação dos conceitos conduzindo-se a uma análise mais detalhada e a uma avaliação quantitativa mais fina dos conceitos que ficaram, usando-se

---

<sup>33</sup> BAXTER, Mike. *Projeto de Produto: guia pratico para o desenvolvimento de novos produtos*. São Paulo: Editora Edgar Blücher LTDA., 1998.

como guia a matriz de ordenação (*scoring matrix*). A seleção de conceitos é um processo iterativo que conduz a um único conceito no qual as subsequentes atividades de desenvolvimento serão focalizadas (*figura 4.7*).



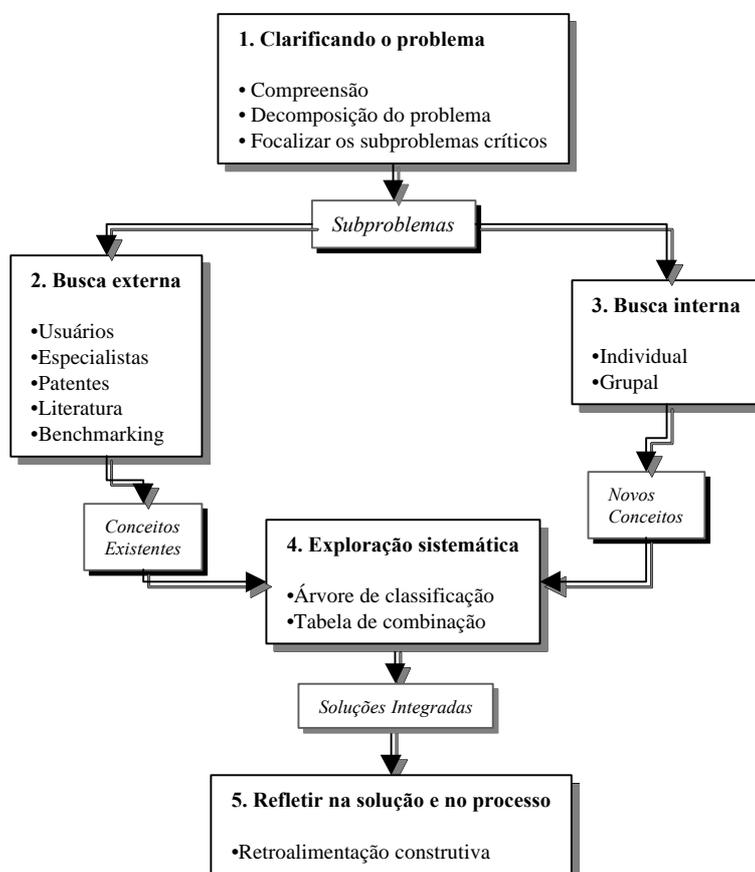
**Figura 4.7** Processo de seleção de conceitos (ULRICH & EPPINGER, 1995).

Como pode ser percebido, este método de seleção de conceitos está construído a partir do uso de matrizes de decisão para avaliar cada conceito com respeito ao conjunto de critérios de seleção. Complementando, a seleção de conceitos pode ser empregada para escolher os conceitos básicos do produto, bem como para um nível mais detalhado de design tanto na tomada de decisão como na escolha de material ou cor (ULRICH & EPPINGER, 1995).

Um método estruturado de seleção de conceitos vai trazer os seguintes benefícios potenciais:

- ➡ Um produto com foco no cliente;
- ➡ Um design competitivo;
- ➡ Uma melhor coordenação do processo de produto;
- ➡ Reduz o tempo para a introdução do produto entre os diversos setores de desenvolvimento, designers, engenheiros etc.;
- ➡ Efetiva a execução da decisão grupal;
- ➡ Documentação do processo de decisão. (ULRICH & EPPINGER, 1995)

Tratando de visualizar a execução e a solução da problemática assim como sua correta definição, Ulrich e Eppinger (1995) acrescentam um processo metódico em cinco passos (ver *figura 4.8*), complementando o previamente visto no processo criativo.



**Figura 4.8** Processo metódico na busca das soluções integradas (adaptado de ULRICH & EPPINGER, 1995).

Cabe ressaltar que estes autores são alguns dos vários pesquisadores existentes que apresentam alternativas personalizadas das suas propostas metódicas.

Um elemento mencionado, mas não esclarecido, é o termo “estratégia”. Quando existe a aplicação de um único método, suficiente para resolver o problema, Jones (1978) considera que se está lidando com uma *estratégia de design* e, frente à necessidade de aplicação de outros métodos mais, estes conformarão os componentes estratégicos, visto de outro modo, uma estratégia pode ser considerada como a lista de métodos a serem empregados. Os critérios que vão determinar a estratégia abrangem o grau de pré-planejamento e o modelo de investigação. E, como a constituição estratégica está determinada pelos métodos, também apresentam variantes lineares, cíclicas, ramificações, adaptativas, incrementais e métodos de controle. Já uma estratégia fortuita, que carece de um planejamento, vai trabalhar com um amplo campo de incertezas

#### 4.4. O PORQUÊ DOS MÉTODOS

Ao longo do tempo, as mudanças feitas para aperfeiçoar os métodos de projeto de produto têm sido poucas, tendo como consequência a pouca variação nos modelos clássicos. A concentração do trabalho de *design* vislumbra a presença de muita retórica e exortações que têm lugar por muitos anos, com pequenos e positivos resultados tangíveis. As necessidades de aproximações estruturadas reduzirão a probabilidade de problemas custosos (ULRICH & EPPINGER, 1995), para os quais é importante a correta conjugação de um correto método de *design* com uma esclarecida atitude social (DA SILVA, 1977).

Desta maneira, a abordagem estruturada da geração de conceitos reduz a incidência de problemas, encarando o conjunto de informações de diversas fontes ímpares de informações, guiando o designer através de alternativas e fornecendo o mecanismo para integrar soluções parciais, bem como facilitar por meio de um processo passo-a-passo para aqueles *designers* inexperientes (ULRICH & EPPINGER, 1995).

Um dos alicientes na formulação de novos métodos encontra-se nas aproximações feitas pelos teóricos, que consideram que os métodos existentes são muito simples para a complexidade do mundo atual. Além disso, já na época, Jones (1978) relata um limitado ou nulo êxito na aplicação de certos métodos, inclusive pelo próprio criador, com a consequente previsão de cair em procedimentos muito familiares, sendo visto como uma solução parcial para os problemas atuais de *design*. Com isto não se afirma que estes métodos ultrapassados sejam descartados, considerando que em uma comparação com a literatura mais recente, há presença destes métodos quase descartados por sua latente opção de fornecer uma alternativa viável.

A presença de problemas, como consequência de fracassos humanos de *design* vai justificar a necessidade de apresentar um novo método que seja mais efetivo e prático. Estes problemas podem ser decorrentes de necessidades já cobertas ou não, mas que levam o ser humano a outro nível. A compreensão está na natureza do ser humano de atingir um *status* cada vez maior, sem a garantia de que a mudança seja benéfica, e é nesta fome de evoluir que surgirão as novas necessidades.

Outra explicação do motivo pelo qual os atuais métodos não comportam as necessidades apresentadas está na subdivisão do problema, a qual nem sempre está correta. Comum é pegar uma parte do problema e trabalhá-la independentemente, isto vai eliminar a possibilidade de combinação entre estas partes. Este tipo de processo só é aconselhável para situações onde se trabalha unicamente com componentes ou produtos simples, se bem que sua aplicação em sistemas complexos vai trazer uma probabilidade mínima de

funcionamento. Esta não aplicabilidade sustenta-se na inexistência de se poder concentrar no designer toda a informação, assim como a disponibilidade total de recursos, a influência da personalidade e seus interesses criados, e finalmente a dificuldade de precisão na escolha de uma solução simples.

Uma colocação válida, apesar de sua existência de longa data, ressalta a importância no processo de desenvolvimento de um projeto: “que o grupo envolvido no processo possa chegar a definir seu próprio método” (DA SILVA, 1977), o qual é viável se forem consideradas as estratégias com seus ajustes pertinentes ao problema.

É importante colocar que, seja qual for a situação de *design*, sempre se usarão métodos, inclusive em situações nas quais somente será gerado um único conceito. Estes métodos vão estar condicionados e mudarão em função das decisões externas dos produtos patrocinados, da intuição, dos prós e contras, dos protótipos de teste, das matrizes de decisão, entre outros fatores condicionantes.

A característica apresentada pelos métodos de *design* tem sido a exteriorização do pensamento, categorizada como intuitiva, racional e processual (pensamento sobre o pensamento). Na busca por abrir a mente a novos fatos e idéias, críticos em nível de sistemas, e deixando de lado a etapa de transformação como forma de manter o controle, tem-se apresentado um efeito destrutivo da fragmentação sobre a habilidade do *designer* (JONES, 1978). Porém, esta situação contratual vem sendo superada com as contribuições e as participações feitas em parceria com outras áreas profissionais, embora ainda existam os problemas da desarticulação ou trabalho em partes.

#### **4.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MÉTODOS DE DESIGN**

Ficou evidente que uma das maiores dificuldades apresentadas nas vastas propostas metódicas manifesta-se na dificuldade da identificação das variáveis, objetivos e critérios que determinam um bom *design*, que trata da correta incorporação de novas propostas ao mundo existente com o intuito de aperfeiçoá-lo. Assim, também as abordagens metódicas podem exibir algumas contradições, na sua maioria, derivadas de sua pouca aplicabilidade, o que na verdade pode estar escondendo novas opções não esclarecidas.

Tem-se comentado bastante sobre a importância do processo mental, sobretudo no que se refere a criatividade, o que leva a pensar que já não se está falando de um processo de *design*, não obstante, a capacidade mental está presente no início e final de toda proposta de um novo produto.

Pode-se apresentar como debilidade dos métodos, a dificuldade de controlar as

estratégias a novas situações, sobretudo quando o método desenvolvido para uma situação envolve muitos elementos, os quais vão apresentar comportamentos até aí desconhecidos.

Em resumo, pode ser colocado que todo grupo usa um método implícito ou explícito na seleção de conceitos. Já as discriminações conceituais partem de um conceito como referência para as variações de conceito. A seleção de conceitos não só se aplica durante o desenvolvimento de conceitos, mas também aplica-se através nos processos seguintes de *design* e desenvolvimento. Por seleção entende-se um grupo de processos que facilita a seleção de um conceito ganhador ajuda a montar o consenso da equipe e a criar o registro do processo de tomada de decisões (ULRICH & EPPINGER, 1995).

As variações na efetividade dos métodos estão em função das decisões externas, do produto patrocinado, da intuição, dos prós e contras, dos protótipos e testes e das matrizes de decisão (ULRICH & EPPINGER, 1995). Os métodos não devem ser caminhos fixos visando atingir um destino já fixado, mas uma conversação sobre todas as coisas que podem fazer acontecer. A linguagem desta conversação deve estender uma ponte por cima do buraco lógico entre passado e futuro, e ainda assim não limitar a variedade de futuros possíveis, nem forçar a eleição de um futuro sem liberdade (JONES, 1978).

## CAPÍTULO V

---

### UMA PROPOSTA FRACTAL NO DESIGN

Em um mundo de constantes mudanças, os produtos entram neste dinamismo, trazendo como proposta a inovação. Apresenta-se uma maior agilidade e rapidez na elaboração conceitual inovadora que a devida transformação complementar e a implementação do equipamento que a comporta, exigindo cada vez mais uma inovação, vista como uma atividade mais integral e articulada entre as partes envolvidas. A latente atitude, muitas vezes sigilosa, de confrontação à rápida mudança evolutiva, revela uma temerosa evasão para evitar o caos e leva ao descaso quanto aos movimentos de recursos existentes nos setores mais apropriados para seu desenvolvimento e sua aplicação (DIBAN & GONTIJO, 1999a).

Como idéia inicial, traça-se a aplicação do conhecimento teórico *Fractal*, em uma aplicação prática, através de um fácil manuseio de conceitos que quebrem com o abismo existente entre os teóricos e práticos, bem como entre a ciência abstrata e a concreta. Isto faz com que os profissionais atuantes no *design* possam aplicar de forma rápida, prática e simples os métodos, que em vários casos são excessivamente teorizados. É assim que esta proposta procura pular a fenda criada, estreitando o manuseio de conceitos e eliminando medos e rejeição à aplicação de um processo metódico e organizado, evitando fugas e perdas de esforços, recursos e tempo. Considera-se que esta nova abordagem tem muitos aspectos em comum com os atuais tratamentos e classificação da informação, e os elementos apresentados nos métodos de projeto de produto vistos como processos dinâmicos.

Um dos objetivos a ser alcançado visa atingir o núcleo do *design* em desenvolvimento no menor tempo possível, empregando uma abordagem sistemática com o auxílio de métodos apropriados, abordagem que tente ser independente da tecnologia disponível. Isto evitará prematuras limitações, além de considerar que o recurso mais importante, neste passo, será o ser humano e sua inferência na interface humano-máquina, ponto de referência para o começo e fim dos pensamentos e ações em *design*.

Parte da atual orientação dos esforços feitos na área de *Design*, está no aprimoramento da tecnologia aplicada na definição de um bom produto. Não entanto, uma má atitude na *síntese da forma* após certas oscilações, poderá trazer uma orientação errônea da “*forma sintética*, proposta orientada para o usuário.

O êxito de um bom *design* não só consolida-se na solução surpreendente, parte além do material recaindo na definição acertada do problema. O processo de *design* não se trata de um processo linear, aliás cíclico por natureza, por mais que a tendência seja a linearidade como função de primeiro grau, evitando repentinas mudanças. No processo cíclico, as constantes ações de examinar as ações já realizadas, não tem como única finalidade comprovar se o *design* preenche satisfatoriamente os requisitos colocados inicialmente, mas também o reexaminar ou talvez redefinir seu propósito antes que se passe a outro estágio. A simplicidade nas colocações deve ser uma constante para evitar as complicações desnecessárias, conforme afirmou Dieter Rams, “As formas complicadas e desnecessárias nada mais são do que cochilos dos *designers*.” (pp. 33, 1984 *apud* BAXTER, 1998)<sup>34</sup>

A forma de atingir os objetivos, derivados das colocações inicialmente feitas, indo do desconhecido para o conhecido, é através da adoção e aplicação dos princípios de *design total* (PUGH, 1991). Estes vão colocar a necessidade de trabalhar paralelamente, e não em seqüência, todas as faces dos negócios em conjunto com a equipe de *design*. Há aspectos que fogem às mãos do *designer*, pelo que se requer profissionais de outras áreas necessárias para a proposta, e, desta maneira, o trabalho será executado simultaneamente por todos.

## **5.1. OS MÉTODOS DE DESIGN DE PRODUTO ATRAVÉS DO COMPORTAMENTO FRACTAL-CAÓTICO**

A aparente dissociação das teorias do *Caos* e o *Fractal* com a área de *Design* se vê eliminada pela atual tendência de unificação dos diversos canais de comunicação em uma única linguagem cooperativa, ou seja, não há barreiras no conhecimento científico, apenas limitações fictícias. Desta forma, o *Caos/Fractal* passa a complementar o setor do *Design*, colocando propostas alternativas que visam atender, da melhor maneira e na medida do possível, os atuais e futuros requerimentos, apresentados pelas exigências do mercado evolutivo, conseqüentemente em constante mudança.

---

<sup>34</sup> BAXTER, Mike. *Projeto de Produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos*. São Paulo: Editora Edgar Blücher LTDA., 1998.

A interpretação Caótica-Fractal do *design* e os *Métodos de Design de Produto* - MDP acontece em dois níveis. O primeiro nível contempla uma visão integral, que considera o ciclo do *design* como unidade única, composta por diversos processos, seqüências ou paralelos. Já em um segundo nível, focaliza-se unicamente a primeira etapa deste processo de *design*, definida pela geração das idéias e conceitos, o **projeto conceitual**. Esta estruturação permitirá uma melhor compreensão e nexos entre as duas áreas de conhecimento, Fractal/Caos e *Design*.

Como elementos básicos, empregados na elaboração do nexo entre as áreas de *Design* e Fractal/Caos, consideram-se as seguintes características caóticas/fractais (PIETGEN *et al.*, 1992): sensibilidade às mínimas variações iniciais, fragmentação, *auto-similaridade* e retroalimentação – *feedback*, e posteriormente a escala; características que, também, são detectadas no processo de *Design*, porém nem sempre de forma explícita.

### **5.1.1. O *Design* como um sistema dinâmico e sua proximidade com o Caos**

No processo completo do *design* do produto, no qual são aplicadas ferramentas metódicas, detecta-se uma seqüencialidade, constituindo uma cadeia, determinando que um estágio possa afetar o outro, com o qual esteja ligado direta ou indiretamente, dependendo dos vínculos mútuos estabelecidos inicialmente. Desta forma justifica-se a importância de uma correta e coerente iniciação do processo, priorizando a apropriada definição da proposta colocada neste primeiro momento produtivo (DIBAN & GONTIJO, 2000).

Este primeiro passo sustenta-se em um comportamento caótico, com sua sensibilidade às mínimas variações iniciais, pois qualquer consideração deixada de lado no início, por mínima e inadequada que seja, vai refletir posteriormente no desenvolvimento do *design*. Pertinente é dizer que em situações nas quais os processos sejam curtos, a consequência não será tão perceptível, e também dependerá do grau de precisão aplicado no processo e na medição dos resultados.

Esta postura condicionaria o *designer* a ter que considerar todos os fatores que influenciam e geram a situação analisada, sob uma perspectiva holística. Embora esta postura seja a ideal, o mais apropriado é simplesmente que o *designer* esteja ciente desse macro-mundo, ainda que ele esteja trabalhando só em parte dele. Desta forma ele estaria apto a prever, de uma forma intuitiva e espontânea, as possíveis condicionantes que afetarão a proposta em desenvolvimento, à medida que execute sua função no *design* (DIBAN & GONTIJO, 2000).

O *Sistema Dinâmico Caótico*, com sua particularidade em *apresentar tudo ao mesmo tempo*”, detectará a existência de variáveis externas, não perceptíveis ao *design* que

esteja sendo executado. Com isto deve-se considerar uma margem para o erro e colapso da proposta, traduzido em outra linguagem como fator de segurança do design e entendido como a tolerância nos componentes do produto final (DIBAN & GONTIJO, 1999a).

Não há um interesse em manipular todas as variáveis envolvidas em cada situação apresentada, mas simplesmente ter conhecimento delas e propor uma alternativa viável dentro dos parâmetros previsíveis, criados por este universo. Sendo assim, a liberdade de “movimento” dos componentes vai comportar aqueles aspectos externos não incluídos no *design*, mas entendidos como responsáveis por alguma possível alteração no funcionamento e desempenho do produto, porém sem atingi-lo no seu ciclo de vida útil, definido pelo produtor. Uma preocupação relevante observa-se no comum pensar que os defeitos apresentados em etapas iniciais, e que de forma cumulativa vão aparecendo ao longo do processo, podem ser corrigidos em etapas posteriores, desconsiderando a possibilidade de uma reação caótica, com a conseqüente perda de recursos por ter a necessidade de aplicar um *re-design*, o qual nem sempre resolve o defeito “*congênito*” que mora no núcleo do produto (DIBAN & GONTIJO, 2000).

Em situações em que as modificações do produto (problema em geral) são pequenas ou simples, o método *AIDA* (apresentado em 4.3.2.2-iii), como processo de transformação, é altamente efetivo, sem necessariamente ter uma prévia estrutura do problema. Porém, considerando que se trata de situações de baixa modificação, há uma presença implícita de macroestrutura estável. Com isto, considera-se a existência de limitações, que caso se parta para uma mudança radical, a estrutura pode perder sua estabilidade, podendo virar uma estrutura dinâmico-caótica.

Há situações nas estratégias pré-fabricadas, como o caso da Investigação Sistemática, em que o método precisa, para ser aplicado, apresentar as variáveis identificadas, tangíveis e mensuradas, assim como o sistema é estável. A estabilidade, geralmente, é entendida como estática, mas não é o caso. A investigação sistemática já diz que se trata de um sistema, e como tal possui certo grau de dinamismo, além de apresentar retroalimentação - *feedback*. A detecção dinâmica, envolvendo a recursividade, tem suas limitações impostas pelo *design*, porém sempre existirá um ponto, após muitas repetições, em que apareça um comportamento inoportuno para os padrões estabelecidos, o qual pode representar um indício do caos inerente a todo dinamismo.

Nem todo processo é, aparentemente, estável. No caso da divergência, apresenta-se uma característica de instabilidade e indefinição, fazendo com que o processo, na falta de limitações e parametrização, crie as condições por ser infinito, para a formação de um processo caótico.

Como pode ser percebido, a associação do sistema dinâmico está estreitamente ligada a uma condição caótica, mas nem sempre isso acontece, pois esta ligação é determinada pela função dos elementos, que intervêm como agentes dinâmicos. Este é o caso de alguns processos de caixa preta bem como os de processos criativos, que entre as particularidades apresentadas tem-se a permutação das características do produto e suas combinações repetitivas. Estes processos podem ter um comportamento caótico, vistos com sistemas dinâmicos dependentes do comportamento e atitude do ser humano. Este agente humano, pode agir dentro de um patamar de controle previsível, detonando impulsivamente, em qualquer momento, partindo para um comportamento totalmente radical, com o surgimento de uma proposta inovadora.

Desta maneira, percebe-se que o comportamento caótico está presente, entretanto, nem sempre é visto como tal, uma vez que o *Processo de Design* não é sempre compreendido como um sistema dinâmico, conseqüentemente, afetado pelas condições do meio ambiente que o comporta.

### **5.1.2. Fractal e Design: presentes nas estruturas dos Métodos de Design de Produto**

Na aplicação dos diversos *Métodos de Design de Produto* – MDP, são apresentadas variadas opções e caminhos a seguir com o objetivo de resolver o problema em análise, detectando-se um comportamento de retroalimentação - “*loop*”, cuja finalidade está na verificação daquilo que está sendo feito em uma determinada etapa, entre outras funções, do processo de desenvolvimento de um novo produto. Simultaneamente, detecta-se a presença de fortes vínculos entre um determinado nível do processo e seu antecessor ou possível sucessor, que são complementados com aplicações lógicas (*estruturadas*) e heurísticas (DIBAN & GONTIJO, 1999b). Este tipo de retroalimentação constitui-se em um *feedback fractal* do processo, elemento que permitirá uma maior compreensão e interpretação integral do mesmo, por seu dinamismo intrínseco, interpretado como fenômeno caótico, como foi apresentado previamente. A importância desta recursividade já tinha sido detectada há muito tempo por Da Silva (1977), sendo sempre útil a reformulação dos primeiros objetivos recursivamente. Este processo recursivo serve como inspeção dos meios que foram utilizados, assim como a validação das propostas e opções acumuladas. Existem métodos que apresentam esta característica cíclica da retroalimentação (*feedback*), como o *método de avaliação de critérios de seleção*, tendo um processo repetido para cada objetivo traçado. Igualmente, Ulrich e Eppinger (1995) no seu método de seleção de conceitos (*screening scoring*), vão elaborar um processo que terá várias execuções iterativamente.

A inspeção detalhada do processo de *design* de um produto vai sugerir dividi-lo em partes menores para um melhor acompanhamento. No estágio inicial, a coleta de dados age sob um trabalho partilhado, como é visto nas colocações metódicas de Tassinari (1995). Paralelamente a **fragmentação**, presente nos fractais, manifesta-se na divisão do problema em subproblemas (ULRICH & EPPINGER, 1995), sendo assim a maneira como os fractais trabalham através da subdivisão em elementos menores, suscetíveis de serem melhor compreendidos e posteriormente trabalhados individualmente. A vantagem que isto traz é a simplificação no manuseio e tratamento da informação e conteúdos disponíveis, porém, sem a perda donexo existente entre os componentes. Caso contrário, se passa a uma desarticulação funcional do processo como um corpo integral. Este aspecto é importante sob uma perspectiva de aprendizagem e usabilidade por parte dos atuantes na área de *design*, sobretudo os alunos de graduação, considerando que uma das maiores dificuldades apresenta-se no manuseio teórico, em contraposição ao empirismo predominante (ASHTON, 1998).

Uma forma de desintegração, diga-se fragmentação de um problema, está representado nos processos de Divergência passando pela Transformação até chegar na Convergência. Jones (1978) propôs uma alternativa para a reintegração através de uma operação *on-line*, empregando intervalos gráficos com o objetivo de acelerar as mudanças humano-computador, ao ritmo do pensamento e da conversação. Isto pode questionar a contribuição fractal, mas a interpretação do objetivo de Jones é atacar aquela desintegração desarticulada de um problema, na qual as partes perdem o nexoque as identifica como elementos pertencentes a um único problema.

O processo apresentado por Ulrich e Eppinger (1995), chamado de *Decomposição do problema*”, tem uma perspectiva funcional, das ações do usuário ou da chave das necessidades deste, iniciando-se com uma representação simples de caixa preta. Em seguida, esta caixa preta é subdividida em outras mais detalhadas até chegar às subfunções suficientemente simples para serem trabalhadas. O êxito até aqui atingido consolida-se na descrição feita sem empregar tecnologias específicas de trabalho para o produto. Focalizando os esforços nos subproblemas críticos, o êxito alcançado na técnica de decomposição está na divisão de um problema complexo em simples subproblemas que podem ser cuidados de uma forma focalizada.

Na análise desta tendência na subdivisão apresentada por Ulrich e Eppinger, detecta-se uma forte característica fractal, representada pela **subdivisão escalar** do problema. A subdivisão terá como objetivo gerar **elementos simples**, com os quais se possa construir uma proposta. Talvez se pense que a fragmentação apresentada trará problemas na

articulação, porém se tomado o devido cuidado, a familiaridade estará definida pela funcionalidade assumida no início. E neste caso específico, Ulrich e Eppinger (1995) concluem com a convicção de que em situações nas quais os conceitos estejam constituídos por elementos simples, estes componentes facilitarão sua compreensão, como uma atitude prevista por uma alternativa fractal na busca da simplificação dos fenômenos através da simplicidade apresentada pelos componentes que o constituem.

“Some complex elements concepts are really aggregations of several simpler concepts. If all of the concepts under consideration are combinations of the same set of simpler concepts, then the simpler concepts can be evaluated first in an independent fashion before the more complex concept is evaluated.”( pp. 121, ULRICH & EPPINGER, 1995)<sup>35</sup>

Uma subdivisão de um problema para caracterizar-se 100% fractal precisa ter um elemento em comum entre as partes, pelo menos para que se perceba que há umnexo. Uma das maneiras de conseguir esta familiaridade entre elementos pertencentes e constituintes de um elemento maior apresenta-se com a *propriedade escalar*. No processo convergente, as estratégias fundamentais adotadas apresentam as duas possibilidades, de *out-in* e de *in-out*. Estas fases vão contribuir com a colocação da escalaridade, esclarecida na necessidade de vinculação no momento de fazer uma análise tanto do geral para as partes como das partes para o geral. Caso contrário, não se apresenta uma visível familiaridade neste processo, a análise se desestrutura e os resultados só vão resolver os problemas parcialmente. O método de determinação de componentes de Alexander (JONES, 1978) traz como função a percepção das conexões existentes, as soluções e os modelos do problema total, revelando a necessidade de uma vinculação entre as partes como ponto importante na adequada estruturação de uma análise. Outro método que já por si só menciona de forma explícita a escalaridade é o *método de seleção de escala de medição*.

Em um processo escalar não se pode desarticular da semelhança estrutural que também está presente no processo geral de aplicação dos MDP vista no total e nas suas partes. Esta reprodução escalar é apreciada sob as considerações de possuir interpretações específicas e adaptadas a determinadas situações, sem por isso perder a identidade inata com a estrutura original que a gerou. A reprodução similar em diversas magnitudes define

---

<sup>35</sup>“Alguns conceitos de elementos complexos são realmente agregações de vários conceitos simples. Se todos os conceitos sob consideração são combinações dos mesmos conjuntos de conceitos simples, então os conceitos simples poderão ser avaliados primeiramente em um modo independente antes de avaliar os conceitos mais complexos “

ULRICH, Karl T. & EPPINGER, Steven D.. **Product Design and Development**. U.S.A.: Mc Graw-Hill, Inc., 1995.

a *auto-similaridade*, característica fractal, difundida através das escalas ao longo do processo.

Adicionalmente, a auto-similaridade não está restrita aos procedimentos físicos, aplicando-se à geração dos conceitos dentro dos MDP. Sob a visão da ótica fractal, a auto-similaridade está representada pela determinação de padrões e gabaritos de semelhança e a padronização entre os elementos que constituem o *design*. Este procedimento facilitará a manipulação e a locação da informação no processo construtivo de uma nova proposta conceitual (DIBAN & GONTIJO, 1999b). Assim, a *auto-similaridade fractal* considera cada elemento gerado como a base para uma nova formulação conceitual, a outro nível, que através de uma transformação escalar, incrementará aspectos a serem considerados de forma gradativa na medida dos requerimentos e exigências contextuais.

O *quadro 5.1* apresenta a informação previamente comentada, colocando em evidência alguns aspectos dos MDP e *design* vinculados às características apresentadas pelos fractais, dentro do universo do caos.

Caraterísticas Fractais/ Caóticas	Métodos de <i>Design</i> de Produto (MDP)
<b>Auto-Similaridade e Propriedade Escalar</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Existência de reprodução escalar das estruturas através dos níveis macro e micro.</li> <li>2. Determinação de padrões e gabaritos entre os elementos gerados, simplificando o manuseio dos recursos disponíveis. Isto permitirá passar de um patamar a outro de forma mais simples.</li> </ol>
<b>Dependência a Condições Iniciais</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresenta-se no ponto inicial onde as considerações gerais podem determinar uma maior modificação nos processo seguintes, definindo-o como um sistema dinâmico.</li> <li>2. A tolerância apresenta-se como a margem dada ao desconhecido ou não considerado no processo.</li> <li>3. A qualidade total aponta a diminuição dos defeitos. Em geral, esta tenta eliminar as variações mínimas que não são vistas como mudanças em um sistema dinâmico.</li> </ol>
<b>Retroalimentação (Feedback)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Percebe-se uma retroalimentação entre as diversas etapas do processo. Caraterística que vai permitir obter uma maior compreensão e interpretação global.</li> </ol>
<b>Fragmentação</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O método FAST (TASSINARI, 1995) e a conversão de um problema em simples subproblemas de Ulrich e Eppinger (1995), o qual desvenda uma fragmentação.</li> <li>2. A abordagem fractal vai ter também como função a detecção e simplificação dos problemas, ao subdividi-los em elementos vinculados, porém de fácil compreensão e solução, para logo integra-los e montar a nova proposta.</li> </ol>

**Quadro 5.1** Relação: Fractal/Caos com os MDP e o *Design* (DIBAN & GONTIJO, 2000).

Uma “forma particular” de ver os elementos Fractais aplicados em um processo industrial de desenvolvimento de um produto, apresenta-se na modularidade. Sendo que a modularidade é uma propriedade relativa, na qual os produtos podem ser ou não ser

classificados como modulares, porém preferentemente exibirão mais ou menos um grau de modularidade no *design* (ULRICH & TUNG, 1991). Esta modularidade dependerá de duas características do *design*: a existência de uma similaridade entre as arquiteturas físicas e funcionais do *design* – **auto-similaridade fractal**, e a minimização das interações incidentais entre os componentes físicos. Adicionalmente, Ulrich e Tung (1991), mencionam que nenhum produto alcança uma modularidade completa.

Esta proposta de modularidade fornece alguns benefícios, identificando-se a padronização dos componentes e a habilidade de alcançar a variedade de produtos através da combinação destes componentes, previamente definidos. Além destes benefícios gerais tem-se outros como: a redução da interação entre o componente e o resto do produto; favorece a rápida mudança do produto; a *variedade do produto a partir de poucos elementos em diversos arranjos* – princípio fractal; redução no tempo de execução; redução da complexidade da tarefa; permitirá às atividades de *design* e a produção de ser especializadas e focalizadas; facilidades no diagnóstico, na produção, instalação, uso, manutenção, conserto; pode constituir-se em um diferencial de consumo. Visto tudo isso, as facilidades são decorrentes de uma fragmentação visando a simplicidade de execução e de elementos, para constituir um componente complexo.

## 5.2. UMA PROPOSTA FRACTAL NO DESIGN

A consideração relevante que motiva a criação desta proposta apoia-se na intenção de incentivar e desenvolver novos métodos para ter mais opções. “We need to change this long established learning habits and encourage students to develop new methods so that they have a pool of appropriate strategies from which to select.” (pp. , ASHTON, 1998)<sup>36</sup>

Na citação de Ashton, foi feita uma classificação didática da representação dos papéis desempenhados pelas duas partes comprometidas com o processo de aprendizagem. Ela vai considerar o ato de *ensinar* como um *input* e o processo de *aprender*, como um *output*. Uma proposta de aprendizagem, vista como um processo cíclico, está na **figura 5.1**. É óbvia a colocação de que a abordagem que se persegue nesta parte não se limita a situação de aprendizagem na graduação, ultrapassando este estágio para ficar a disposição dos *designers* em geral, como uma opção de interagir no processo de *design*.

---

<sup>36</sup> “Precisamos mudar estes hábitos de aprendizagem longamente estabelecidos e encorajar os estudantes a desenvolver novos métodos, desta maneira eles terão uma piscina de estratégias apropriadas da qual escolher”



**Figura 5.1** Modelo experimental de aprendizagem de David Kolb, 1984 (ASHTON, 1998)

### 5.2.1. Aspectos Preliminares à Modelagem

Ciente da posição existente, e apesar de toda boa intenção em propor uma nova alternativa, Jones (1978) diria que nenhum dos métodos conhecidos são tão completos como aparentam a primeira vista. Complementa, colocando que, para resolver um problema de *design* precisa-se de uma certa combinação de intuição e racionalidade.

Todo *design* vai definir um período temporal para sua execução porém, na presença de processos cíclicos, devem ser definidos os parâmetros de interação repetitiva infinita. Esta visão infinita, vista na recursividade escalar dos fractais, poder-se-ia pensar que é contraditória com os MDP e em geral o *Design*, mas a infinidade é uma característica de tudo aquilo que existe, embora seja o ser humano que impõe limites. Com esta proposição se tenta definir que, apesar de todo processo natural ser altamente infinito, as necessidades do *design* vão parametrizá-lo, sem a intenção de modificar sua identidade natural. É provável que todo *design*, em algum momento, manifeste um conflito e um problema decorrente das limitações impostas, no entanto, o êxito obtido com o *design* acontecerá quando este defeito se manifeste fora do prazo estipulado e projetado para seu funcionamento.

Os processo mentais empregados no *design* podem apresentar bloqueios por diversas causas, sejam pessoais, que em muitas situações afetam diretamente o produto, ou sejam causas de índole de contexto em função dos recursos à disposição. Não se está colocando que são as únicas causas que podem atrapalhar o processo abstrato criativo da mente, pois

existem vários elementos que vão condicionar, porém não são mencionados porque não é propósito da pesquisa trabalhar nesta linha.

Como ferramentas úteis para situações de bloqueio mental podem ser considerados os diagramas de bloqueio, matrizes, redes, com os quais pode-se tentar exteriorizar e fazer tangível o pensamento. A aplicação de Rede é apropriada em situações em que as relações existentes referem-se a entidades físicas, susceptíveis de medição, porém o cuidado está em evitar considerar tudo o que ela comporta como viável de ser concretizado.

Como complemento e atingindo um patamar superior, sob a consideração de uma mente avançada, a definição do produto deixa de ser um conjunto de componentes, passando a ser um conjunto de funções (TASSINARI, 1995).

Referente já ao *design*, pode-se dizer que existem duas posições para este frente ao contexto, a primeira delas considera que todo *design* sempre inclui um contexto, e a segunda posição considera que o *design* pode ser criador de contexto. Estes aspectos são relevantes, se considerado que o contexto é um elemento de discussão global, por tratar-se do *Meio-ambiente Natural*.

A maioria do *designs* vão apontar para o desenvolvimento de propostas a partir de características funcionais, não obstante o objetivo final possa ser orientado em outra linha. É por isto que não existe uma única forma correta de criar um diagrama de funções, e também não existe uma única decomposição funcional correta do produto (ULRICH & EPPINGER, 1995). A forma prática de fazer isto é traçando rapidamente vários diagramas e refiná-los em um simples diagrama que satisfaça o objetivo do grupo. As técnicas de auxílio a este processo consideram a elaboração de um diagrama funcional de um produto existente; um diagrama funcional de um conceito pré-definido, conhecida a tecnologia sub-funcional, tudo isto em um nível abstrato; ou finalmente pode seguir um dos fluxos apresentados pelo processo. Em algumas situações de difícil definição, o mais simples pode ser uma listagem das subfunções do produto sem preocupar-se com as suas conexões (ULRICH & EPPINGER, 1995).

Como delimitação à modelagem pode ser colocada a elaboração de uma proposta de *design*, na qual o pensamento parte de uma fragmentação não homogênea das formas e princípios. É quando aflora a necessidade de querer construir as propostas empregando diversas variáveis, sob a idéia de que a variedade enriquece o produto final.

A sofisticação presente sempre foi preconceito para uma boa elaboração de *design*, que em muitos casos leva à confusão tardia, complicando o retorno aos princípios-base na construção do projeto final. Sendo assim, muitas vezes não é necessário sobrecarregar,

com elementos diversos, o início de alguma construção. Com isto fica claro que a intenção é deixar temporalmente fora tudo aquilo que pode acrescentar um valor supérfluo ao produto, mas não é preciso considera-lo no início como variável determinante, porém deve ser considerado para sua posterior inclusão sem maiores contratempos e complicações. “Eu acredito que as coisas simples são melhores que aquelas vistosas e complicadas, porque elas são mais agradáveis.” (TERENCE CONRAN, 1985 *apud* pp. 33, BAXTER, 1998)<sup>37</sup>

Não é de interesse condicionar processo algum, já que essa função passará às mãos do próprio *designer*. Ele poderá definir suas limitações, assim como o alcance da pesquisa feita para o início do desenvolvimento de *design* de produto. A idéia centraliza-se em ter uma seqüência lógica, em função das magnitudes e dimensões das áreas afetadas ou a serem desenvolvidas. É o saber separar em partes interativas e corretamente delimitadas pelas dimensões necessárias, sem extrapolar os capacidades da infra-estrutura.

### 5.3. DELIMITAÇÕES PRELIMINARES NA MODELAGEM

A premissa do *modelo*, aqui apresentado, parte de uma visão fractal do pensamento, o qual vai sendo enriquecido com as experiências. Partindo das situações básicas, o designer vai acrescentado o conteúdo nas suas diversas formas – básicas, de processo de conhecimento e comportamento. Ele mantém uma estrutura base a qual vai ser modificada ou adequada à situação, dando-se uma ampliação ou diminuição do mesmo conteúdo.

Outro aspecto considerado são as estruturas naturais com um padrão de crescimento, o qual pode ser considerado como a reprodução viva de um programa, cuja representação gráfica se apresenta em forma de estruturas vivas. Neste ponto, existe uma diferença clara entre a proposta da Biônica e o modelo pretendido porque a biônica vai estudar os fundamentos em estruturas naturais, para logo reproduzi-las, enquanto que a modelagem fractal parte para definir os elementos primários e simples, que criam estes fundamentos naturais.

Um primeiro esboço do *Modelo Fractal de Design – MFD*, pode ser baseado numa analogia com um processo matemático. Desta forma, a introdução dos conceitos fractais encontraria uma interface na interpretação dos conceitos, para depois passar a um formalismo mais teórico e lingüístico para sua melhor compreensão.

A eleição da linguagem matemática responde as possíveis limitações da lingüística em relação ao *design*. O *design* pode chegar a apresentar um nível funcional

---

<sup>37</sup> BAXTER, Mike. *Projeto de Produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos*. São Paulo: Editora Edgar Blücher LTDA., 1998.

metasemiótico, sem possuir uma codificação própria, dando uma ampla liberdade, tornando a colocação muito abrangente.

A primeira colocação feita orienta-se na definição de um processo com recursividade baseado em uma formulação matemática. A construção da função matemática, considerando sua forma de trabalhar, vai considerar a conversão de certos números - *inputs*, em outros - *outputs*. A elaboração da função pode iniciar-se na necessidade de representar um fato real, em uma expressão matemática, que permita fazer cálculos com vistas a uma predição do comportamento. Desta forma, a função - *iniciador fractal*, poderia ser modelada com a ajuda de uma variável - *gerador fractal*, a qual representaria o valor de entrada (*input*), obtendo a seguir, como resposta, o valor de saída (*output*).

Finalmente, na situação em que possa ser definido um conceito flexível como a variável, então se poderá criar, com base nas exigências do projeto, a função apropriada, a qual levará à obtenção da versão fractal da proposta.

#### 5.4. UMA MODELAGEM FRACTAL NO DESIGN, O MFD

A evidente presença dos elementos típicos do comportamento caótico vai ser fundamental nos processo de *design* de uma nova proposta, tendo em consideração para a modelagem, os já mencionados elementos fractais, como a *retroalimentação (feedback)* - e continuidade infinita, *auto-similaridade* - auto-afinidade, acompanhada da *capacidade escalar*, e dimensão, como ferramentas básicas para a construção. De outro lado, a percepção do usuário na abordagem da problemática será importante, ao juntar-se com o mundo Fractal através do processo de fragmentação, sendo este aspecto um dos objetivos da pesquisa.

A consciência humana possui uma tendência à criação de fronteiras e limitações como meio para definir padrões e propor soluções aos problemas apresentados no seu ambiente. Não vai ser considerada a hipótese de que o processo mental é uma atividade limitada, embora seja pertinente esclarecer que esta atividade tem criado a necessidade de enxergar um ponto final para poder projetar, o qual é compreensível, quando se precisa de uma definição de objetivos para atuar e definir um produto. Uma das causas das limitações na imaginação e na criatividade está estritamente ligada a polarização na vida do ser humano (GLEISER, 1998). Este aspecto corrobora a proposta fractal, definindo certas fronteiras, embora como maneira de focalizar e permitir a modelagem de uma idéia que será reproduzida aleatoriamente e de forma indefinida.

A aleatoriedade mencionada é característica intrínseca dos sistemas dinâmicos, sendo assim pode ser traçado um perfil caótico-dinâmico dos processos mentais, colocação previamente feita. Estes processos iniciam-se com simples interações que depois vão-se traduzir em inesperadas reações incompreensíveis, complementando idéias previamente colocadas. Pode-se dizer que esta é uma das causas que explica a diversidade de comportamentos do pensamento humano. É assim que uma re-interpretação fractal fornecerá os elementos básicos para uma possível interpretação estrutural do processo cognitivo ante uma determinada situação.

A análise feita do processo, na abordagem de um problema, vai revelar que há tendência à busca de subdivisão através da criação de subproblemas. Sendo assim, a abordagem mantém, inicialmente, uma coerência apropriada, a qual vai desvanecendo-se à medida que o processo vai fragmentando a “*informação*” (entendida como tudo aquilo à disposição que possa colaborar com a atividade em execução) de uma maneira aleatória, com a perda dos nexos entre as partes, desarticulando o problema em análise. Conseqüentemente, a proposta gerada, a partir destas partes desarticuladas, não tem mais validade real e prática, por sua abrupta ruptura com os princípios que inicialmente estruturaram a problemática abordada.

Considerando os atuais métodos de análise e processamento de informação existentes no *design* de produto, considera-se a necessidade de implementar a proposta, de maneira que consinta à cognição em uso, acompanhada dos elementos fractais, e desvendar a espontaneidade inata do ser humano, muitas vezes traduzida em intuição. “A intuição não é algo dado. Treinei minha intuição para considerar óbvias formas inicialmente rejeitadas como absurdas, e acho que todos podem fazer o mesmo.”(MANDELBROT, *apud* pp.97, GLEICK, 1990)<sup>38</sup> Complementando, a proposta orienta-se na busca de uma otimização da linguagem teórica para que ela possa ajudar à evolução do *designer*.

Isto vai ser possível de implementar através da *auto-similaridade*, que permite à pessoa trabalhar com dois elementos estruturalmente simples: o *iniciador* e o *gerador*, sendo o iniciador, o elemento base – *plano de domínio*, e o gerador o elemento reprodutor – *coleção de pequenos domínios contidos no iniciador*. A interpretação destes dois elementos se enquadra dentro da idéia de partir de uma estrutura base, na qual acontece a aplicação repetitiva de um mesmo elemento. Sendo que este elemento, vinculado com a capacidade escalar vai-se dispondo em diversos arranjos a diversas magnitudes, sob o controle do usuário, com a finalidade de preencher os requerimentos apresentados pelo

---

<sup>38</sup> GLEICK, James. *Caos-A criação de uma nova ciência*. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda., 1987.

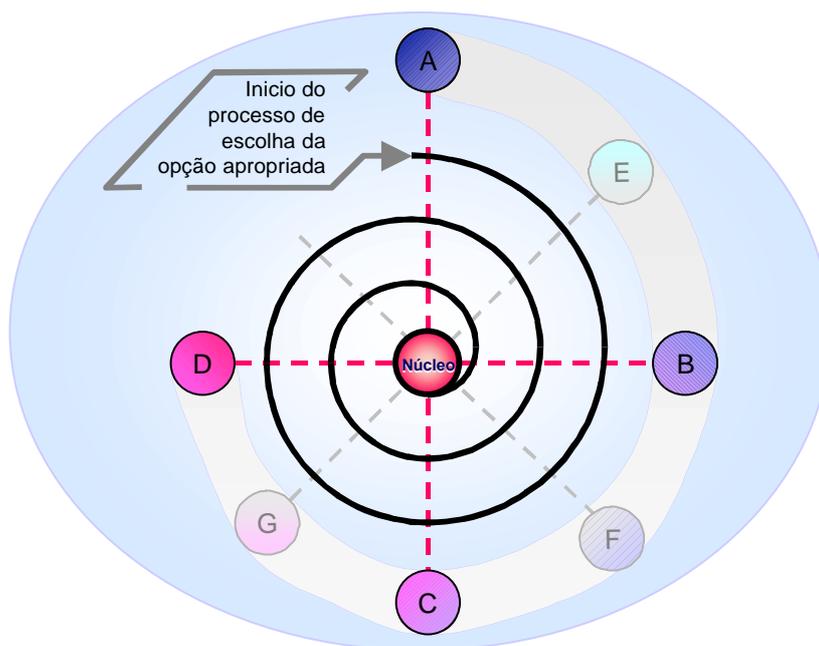
problema em questão (DIBAN & GONTIJO, 2000).

A identificação do *iniciador* e *gerador* estará determinada pela capacidade de abstração da pessoa, auxiliada pelos métodos básicos de técnicas de exploração de processos criativos (idéias), como o Brainstorming e a Sinética (*analogias*) (JONES, 1978; BOMFIM, 1995), em uma primeira instância, tendo como única limitação relevante o tempo e a disposição para sua aplicação.

A partir deste ponto vão ser traçados os objetivos primários, orientados, inicialmente, na organização dos canais de pensamento seqüencial e espontâneo, no estágio inicial do processo de *design*. Com base nestes objetivos primários, vão ser determinadas as diretrizes que permitirão a definição daqueles elementos passíveis de serem considerados como *iniciadores*. Posteriormente a reformulação do conteúdo obtido nessa etapa, visando atender o alvo traçado, permitirá a detecção dos elementos conhecidos como *geradores*. A escolha destes elementos deve ser adequada para atender às demandas iniciais do problema de forma estritamente simplificada e articulada, evitando a complexidade e a desorientação. Cabe mencionar que a presença da opção de retorno ao ponto inicial está continuamente aberta - *feedback*, permitindo a retroalimentação e posterior enriquecimento dos objetivos até aqui alcançados.

Como primeira e intuitiva aproximação geral, o uso recorrente de iniciador(es) e gerador(es), constituem as bases e constantes/variáveis interventoras do percurso de evolução do problema, afunilando-se as opções até atingir o objetivo central. A **figura 5.2** apresenta estes componentes, na qual os elementos *A, B, C, D, E, F, G* etc., são considerados na elaboração da proposta como os eixos construtivos desta, entre os quais, encontram-se os iniciadores e geradores. A quantidade de elementos definidos determinará o nível de complexidade inicial do contexto do problema. No entanto, a complexidade final estará determinada pelo jogo entre o iniciador(es) e gerador(es) proposto(s). Já a complexidade inicial, novamente, vai estar determinada pela habilidade do *designer*. O processo de desenvolvimento vai passar sucessivamente pelos itens antes mencionados. Estes componentes do sistema servem também como avaliadores na tentativa de aprimorar as opções e chegar ao núcleo da proposta inicialmente definida (DIBAN & GONTIJO, 2000).

Foi apresentada até este ponto uma visão geral do processo recursivo através de um funil espiral que orienta o sentido em que as opções podem ser depuradas até chegar a proposta adequada ao problema previamente definido, com o uso de condicionantes impostas pelos critérios do *designer*.



**Figura 5.2** Processo evolutivo de solução de um problema (DIBAN & GONTIJO, 2000).

O passo seguinte será a implementação do modelo considerando as características do *design* e os fractais. O **Modelo Fractal de Design MFD**, apresentado na **figura 5.3**, está definido com a intenção de que possa ser alterado com *auto-similaridade* e a escala. Desta forma o MFD pode ser aplicado em qualquer estágio do processo do projeto de produto, seja para uma primeira aproximação à problemática como na definição final do produto. Um elemento importante do MFD é o uso constante do iniciador e o gerador, como componentes básicos para a elaboração da solução.

O **MFD** está conformado pelos elementos *Input*, *Definição de Objetivos* – DO, *Problema*, *Fragmentação Familiar* – FF, *Iniciador/Gerador* e *Output*, encontra-se inserido em um *Meio Ambiente* que o condicionará. Adicionalmente trabalha-se com três coordenadas, representadas pelos eixos das *Delimitações Objetivas*, *Delimitações Subjetivas* e o *Agente Humano*.

O MFD funciona através de um processo cíclico, representado por um trajeto espiral (**figura 5.4**), partindo de dentro para fora com o intuito de passar a idéia que trata-se de uma atividade dinâmica que passa de uma grande abrangência a um resultado bastante objetivo e manipulável. Este processo é visto sob a classificação tripartida dos métodos apresentada no *capítulo 4*, tendo assim um passo de uma *Divergência*, altamente abrangente, a uma *Convergência* claramente reduzida, através de um processo de *Transformação*. O uso de matrizes e redes de interação, nos diferentes níveis do processo, são úteis, pela facilidade no manuseio de conceitos.

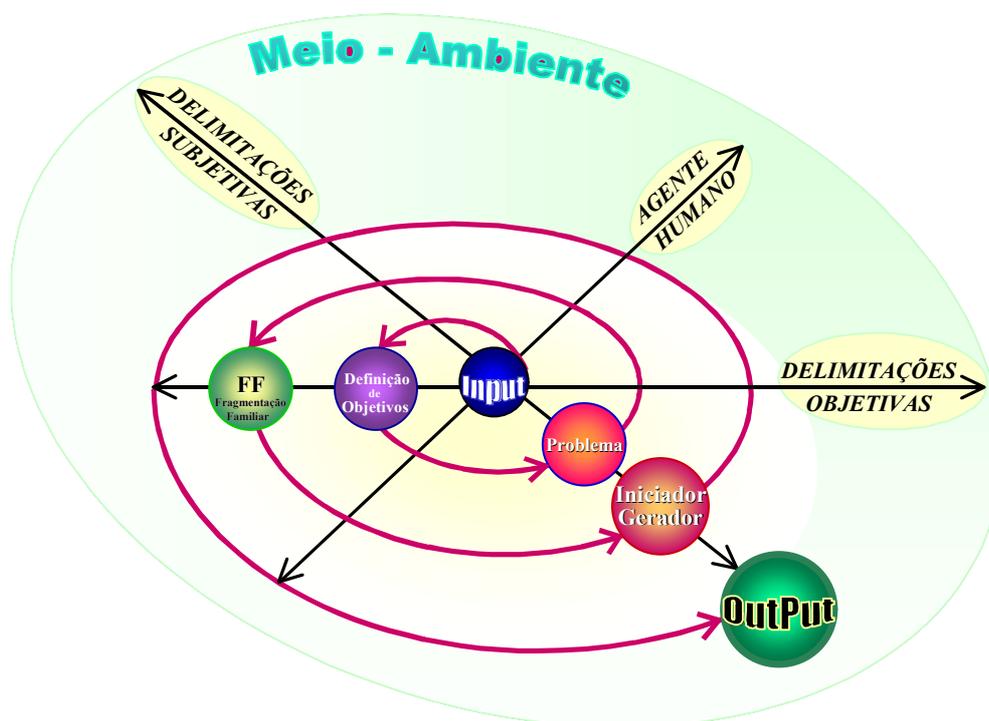


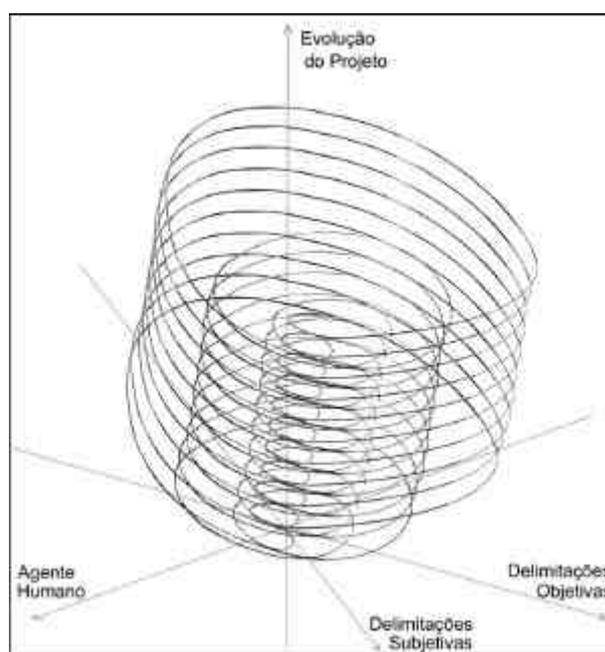
Figura 5.3 Modelo Fractal de Design - MFD.

A presença dos três eixos vai determinar as tendências de todo processo: a abstração, a concretização e o fator humano. Assim, também, os três eixos vão servir como veículos de comunicação e troca de informação – *feedback*, entre os componentes do modelo, processo a realizar-se de forma radial. Estes eixos não são definidos como recicladores na busca de correções, mas como veículos avaliadores e monitoradores dos passos executados.

O uso dos métodos apresentados no capítulo 4 podem ser aplicados no MFD de forma delimitada pelos eixos. No caso das Delimitações Objetivas podem ser aplicadas as técnicas de exploração de processos lógicos: Matriz e Rede de interação e restrição, Semigrupo hierárquico, Análise de funções, Diferencial semântico, Caixa morfológica. Já na situação do eixo das delimitações subjetivas é lógica a aplicação da técnica de exploração do processo criativo.

No primeiro estágio se faz uso do **Input**, tratando-se do fornecimento de informação inicial, neste caso seria a *Problemática*, a qual coloca a necessidade apresentada mas não define exatamente o que é. Importante ressaltar que neste primeiro passo convergem os três

eixos, refletindo a complexidade inicial: objetiva, subjetiva e humana. O segundo estágio envolve a **Definição de Objetivos**, passo necessário na busca de visualizar e concretizar a necessidade, através de condicionantes que a delimitam. O terceiro estágio está constituído pelo **Problema**, que já define a situação de *design* que será solucionada. É a partir deste ponto que o *design* como idéia aparece, podendo ser representado por conceitos bem definidos que criem uma imagem mental de um produto ainda “*sem nome*”, supondo que se trata de um conceito inovador e sem nicho no mercado. Os métodos que podem auxiliar este processo são aqueles encaixados na exploração da situação do *design*.



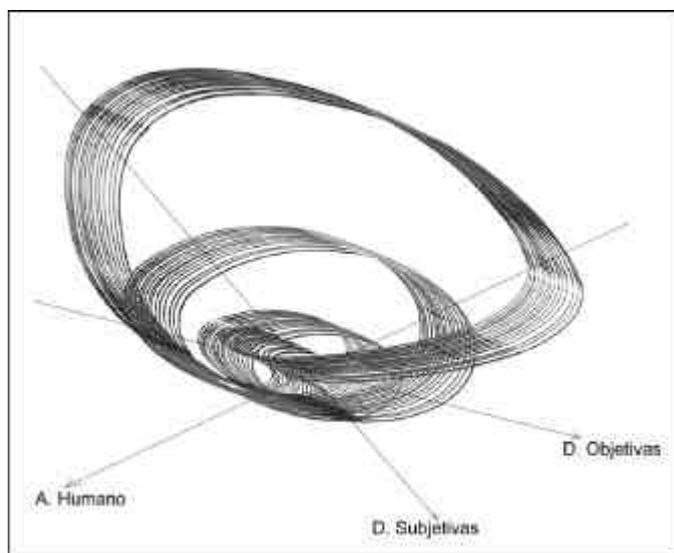
**Figura 5.4** Processo cíclico e evolutivo do MFD.

Ciente da necessidade, já esclarecida como produto, o passo seguinte é partir para a **Fragmentação Familiar**. Este estágio tem como objetivo a subdivisão do problema em elementos menores mantendo uma familiaridade, evitando desta maneira a desarticulação do problema. A semelhança que possa apresentar-se é consequência dos vínculos estabelecidos pela família a qual pertencem. Através de um processo de identificação de elementos comuns passa-se a determinar aqueles que tem uma maior predominância e efeito sobre os subgrupos criados, sem ir contra o equilíbrio do grupo e sem deixar de lado os outros elementos menos representativos. Entre estes elementos serão escolhidos o **Iniciador(es)** e **Gerador(es)** como estágio seguinte. Como foi antecipado, a quantidade deste obedecerá aos requerimentos da situação em discussão e análise, com a intervenção humana. Os elementos iniciador e gerador, vão responder a uma formulação, que pode partir para uma equação de segundo grau, dependendo da dimensão na qual se

desempenha, sem por isso estar limitada à dimensão inteira, podendo cair numa fracionária – *dimensão fractal* (vista no capítulo 3). A formulação proposta está definida pela equação:

$$\text{F} = \text{G}^n + \text{I} \quad (5.1)$$

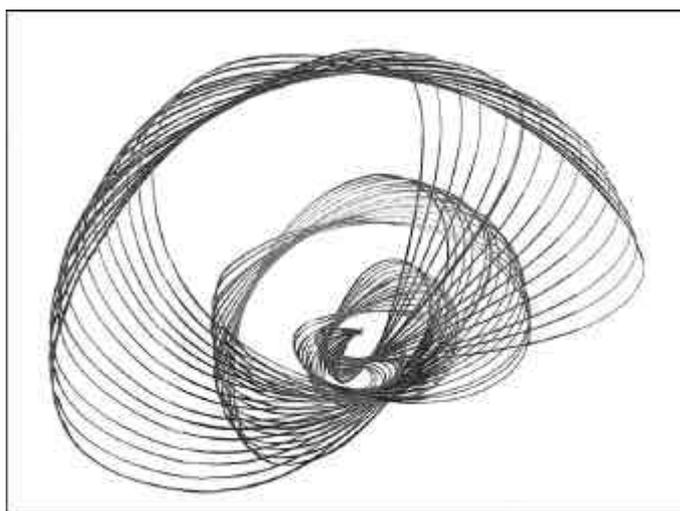
Nesta equação, a letra “F” vai definir a *Função do Problema* como alvo a ser resolvido. A letra “I”, refere-se ao *Iniciador*, elemento que permanece como uma *constante* e serve de base para a mutação e evolução junto com o gerador. O iniciador pode ser visto como um conceito concreto, claramente definido. A letra “G” pertence ao *Gerador*, cumprindo um papel de *variável*, sendo que ele vai multiplicar-se de forma exponencial “n” em virtude das repetições cíclicas necessárias para atingir a variedade exigida pelo contexto (*figura 5.5*). Este gerador pode ser visto como uma característica ou atitude predominante. Neste estágio podem ser aplicados métodos do tipo de *investigação de idéias*, que vão fomentar a criatividade e a variedade na busca de um arranjo inovador dos elementos comprometidos, o iniciador e gerador. Um método interessante de considerar é o da Sinética/Sinestesia, por sua proposta em trabalhar com dois elementos aparentemente dissociados.



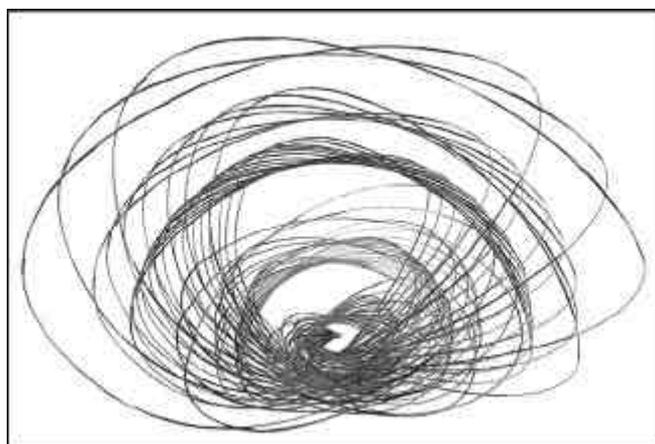
**Figura 5.5** Processo de interação do(s) iniciador(es) e gerador(es) na geração de alternativas.

Até este ponto o processo do MFD vai determinar uma estrutura no processo mental que, uma vez assimilada, pode ser repetida novamente de uma maneira um pouco mais rigorosa e aprofundada, bem como acrescentando pequenos elementos que enriquecerão a proposta conseqüente.

A definição da equação é necessária para mostrar a interação interna entre iniciador e gerador, neste caso, o processo é desenvolvido pelo *designer*, sem necessidade de tecnologia sofisticada. Conseqüentemente vai ser determinada uma variedade e riqueza nas opções de solução, das quais são escolhidas as opções viáveis traduzidas no **Output**, que poderá alimentar outro MFD, maior ou menor (*figuras 5.6 e 5.7*).



**Figura 5.6** Desenvolvimento do MFD trabalhando com três alternativas de outputs simultaneamente.



**Figura 5.7** Desenvolvimento do MFD tabalhando com recursividade de um mesmo output.

Finalizando, não pode ser descartada a possibilidade de se levar em conta as variações que acompanham o processo, como as apresentadas pelo perfil do usuário, e a atividade no processo de perguntas e respostas através do processo de desenvolvimento do *design*. Nesta atividade se propõe uma reformulação de uma determinada situação

particular da *praxe de viver* do *designer*, a partir de outros elementos presentes na sua própria *praxe de viver*, entendendo-se que a pessoa vai procurar na sua própria experiência e forma de agir uma nova alternativa à situação apresentada. Da mesma forma se dá a reformulação da *praxe* de quem é o receptor (MATURANA, 1997), que neste caso será o consumidor. Igualmente a reformulação desta *praxe* terá repercussão nas condições sob as quais se desenvolve o *design* do produto.

## 5.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE A PROPOSTA FRACTAL NO DESIGN

Os aspectos humanos interventores de toda situação de *design* podem chegar a determinar a diferença entre uma correta ou uma incorreta aplicação no *Design*. Ciente desta variável, o aperfeiçoamento de toda aplicação estruturada no *Design* estará condicionada, além de um melhor conhecimento da situação do *design*, pelo conhecimento das habilidades e preferências do *designer*. Estes elementos particulares do *designer* vão fornecer a flexibilidade que ele precisa para agir naturalmente, como diria Levi, "Não se faz um bom trabalho tentando forçar-se o talento, (...)".(pp. 194, MANDELBROT, 1991)<sup>39</sup>

Adicionalmente, na situação dos alunos de *Design*, um possível problema talvez não esteja no conteúdo nem na forma como se ensina e sim em como o estudante aprende, segundo o apontamento feito por Ashton (1998).

A necessidade, no uso de uma abordagem metódica, pode estar delimitada pela busca obrigatória, do *designer*, de uma informação adequada, que se encontra fora de seus pensamentos imediatos em cumplicidade com a constante inibição da tendência a ampliar a primeira idéia que vem à cabeça.

O conceito base para toda nova proposta deve considerar que a aplicação de um método a uma determinada situação pode não ser viável a todas as situações, a menos que sejam feitos ajustes pertinentes. No entanto, estes ajustes não são detectados pela pessoa que aplicará o método, descartando-o, quando a correta postura jaz na aprendizagem e no enriquecimento dos métodos disponíveis, transformada em um processo heurístico.

É provável que a delimitação das variáveis de um problema, consequência de uma necessidade do mercado/usuário, seja complicada quando exista a intenção em visualizar todos os elementos conformando uma unidade dinâmica. Já a abordagem fractal fornece uma opção objetiva que, em muitos casos, esclarece o problema. Desta forma, abre-se uma nova janela de conhecimento na busca de melhorar os Métodos empregados no *Design*.

---

<sup>39</sup> MANDELBROT, Benoit B.. *Objetos Fractais*. Lisboa: Gradiva, 1991.

## CAPÍTULO VI

---

### CONCLUSÕES

#### 6.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM DO MFD

As metas inicialmente traçadas orientavam a pesquisa na definição de um elemento simples que pudesse definir muitas características complexas através de interações igualmente simples. Estas colocações foram implementadas na modelagem do MFD. O processo de modelagem iniciou-se com o uso de critérios simples, como acontece com a própria proposta, porque se procurou a simplicidade através da simplicidade das definições na colocação dos elementos presentes no modelo.

Os elementos considerados na modelagem partiram da definição, das características que delimitam os fractais, adicionados ao comportamento caótico. Até este ponto, a simples conformação matemática ajudou no processo abstrato da elaboração do modelo, embora a aplicação matemática pura esteja ausente, por não ser parte do objetivo. A linguagem matemática simplesmente serviu como representativa, em instantes quando a única forma de ver o nexos de um elemento com outro parecia discrepante, diga-se que a matemática está representada por um raciocínio puramente lógico.

A grande variedade vista nos métodos leva a considerar que nem tudo é método, pois muitas propostas são técnicas e ferramentas, bem como estratégias, entendidas como grupo de métodos.

Se for observado rapidamente, seria complicado tentar misturar conceitos tão abrangentes como a instabilidade, com o contexto nos processos metódicos, que só seriam executados em situações totalmente estáticas. Se bem que a instabilidade pode ser colocada como dinamismo, foi um elemento que conseguiu ser inserido e assimilado pelo modelo. Desta forma, os conceitos abrangentes, incompatíveis no início, foram traduzidos em conceitos mais definidos que fossem manipuláveis..

Com este tipo de “traduções” atingiu-se como característica ser um modelo explícito

do próprio modelo. Conseqüentemente, constitui-se em um modelo transparente, sem elementos ocultos. Talvez a transparência lembre um pedaço de cristal. Esta analogia é válida se for considerado que um cristal está conformado por alguns poucos elementos, criando uma estrutura complexa, porém de interpretação simples. Assim mesmo, os elementos estão sempre visíveis, sobretudo quando o modelo trabalha com processos não visíveis, que é o caso do processo mental do próprio *designer*.

Outra faceta do modelo MFD traz, na medida do possível, a definição dos elementos de forma genérica, evitando-se com isso sua restrição no uso. Não há intenção de que o modelo esteja restrito a soluções da área de *design*. Quiçá seja pretensiosa a proposta de querer aplicar o modelo a qualquer problema, porém ele pode ser condicionado e adaptado para isso, por sua simples e genérica definição.

Pode-se pensar que, aparentemente, os métodos e o processo de *design* não são muito evidentes no modelo. Porém, se forem analisados vários dos métodos apresentados, inclusive a estrutura do projeto conceitual, detecta-se que há uma semelhança com o próprio processo de *design* e o modelo, no entanto, com certas alterações. Adicionalmente às características definidas pelo *design*, o modelo carrega uma particularidade familiar aos fractais. Conclui-se, então, que o modelo conseguiu incorporar idéias e processos metódicos no *design*, sob uma visão dinâmica que contemplasse como suas características aquelas apresentadas pelo universo Fractal.

É muito provável que a intenção de simplificar o processo de *design* e sua conseqüente rapidez certa, seja alcançado com o uso do modelo, em virtude dos atributos do MFD. Obter a simplificação dos complexos e variados estágios no processo de *design*, está possibilitado pela estrutura seqüencial e básica, além de atribuições previamente esclarecidas presentes no MFD. É bem certo que o fator rapidez sempre estará relacionado, e diretamente proporcional, à capacidade da pessoa que lida com o problema, embora já existindo um gabarito ou roteiro, seja muito mais fácil fazer as colocações de forma rápida, poupando tempo na estruturação da proposta, por mais que existam perdas em outros aspectos. A vantagem do modelo, graças a sua objetiva e simplificada apresentação, poderá ser redimensionado e aplicado tanto como macroestrutura, como micro definição num determinado passo do processo de *design*.

A personalização do modelo pode ser contemplada, sempre e quando este não perca sua continuidade. Isto fica mais claro, se por exemplo, o *designer* considerar que para definir o problema, não precise dos objetivos prévios, ele vai pular um passo. Este pulo nos passos pode ser útil quando se inicia o ciclo, porém, no caso de aplicação a outro nível, é recomendável que se considerem todos os estágios do modelo, para evitar a

desconsideração de aspectos mínimos que podem afetar posteriormente. Afinal de contas, parte da personalização feita no modelo está em como a pessoa o usa, quando ele é visto como uma ferramenta.

Assim, feita uma analogia com um martelo, dependerá da pessoa escolher a maneira de segurá-lo, o que definirá a eficiência no seu uso. Caso a força seja um atributo a considerar na pessoa, em uma situação restrita pela existência de um único modelo de martelo, esta definirá a rapidez com que se coloque um prego na parede. Da mesma forma, frente a uma situação restrita de *design*, quem agilizará ou viabilizará uma opção otimizada do processo de *design*, vai estar concentrada na capacidade dimensional do modelo, e não unicamente no *designer*.

De forma conclusiva, pode ser colocado que o objetivo de atingir a conformação de um modelo estruturado, vai criar os nichos, apropriadamente definidos, para serem preenchidos pelas escolhas feitas pelo *designer*, de maneira tal que o processo de *design* tenha uma seqüência racional lógica. Esta forma definida de abordar uma problemática evitará que se perca tempo com a definição de uma estratégia, e, em situações que o *designer* desconheça o uso dos métodos, poderá ajustar o modelo de forma que ele seja redimensionado e considerado como uma abordagem metódica, auxiliando-o no seu raciocínio. Com isto fica claro que a flexibilidade inerente do modelo existe e que a partir desta, o modelo trará uma ajuda ao *designer* inexperiente, e conseqüentemente uma agilização no processo de *design*, atingindo mais cedo a linha de produção.

A generalização apresentada pelo modelo pode ser uma grande vantagem, porém, ao mesmo tempo pode significar uma restrição. Ser genérico traz a visão do conjunto, já bastante importante, no entanto, existem elementos que devem ser mais detalhados, como a definição da função que determinará as alternativas que podem ser interpretadas como regras de jogo, no uso dos recursos gerados pelo modelo.

## **6.2. OS VALORES INTROSPECTIVOS NA MODELAGEM**

A presença implícita de alguns conceitos cognitivos e culturais evitou que eles tivessem uma participação influente na modelagem, através de aspectos tão importantes como padrão de aprendizagem e intervenção de valores regionais. Estas áreas, muitas vezes incorporadas nas estruturas sociais e de comportamento influenciam qualquer atitude tomada pelo designer. O processo de *design*, incorpora, de maneira subjetiva valores obtidos do contexto onde desenvolve a proposta, com elementos não mapeados diretamente pelo modelo, passando a responsabilidade para o *designer*. Esta restrição do

modelo faz com que o *designer* não possa expor certos processos mentais, que, muitas vezes, determina o rumo do produto elaborado. Isto não quer dizer que o modelo não possa comportar este tipo de elementos, por que ele tem essa capacidade, embora isto não esteja definido.

### **6.3. O USO DE FRACTAL E CAOS NA MODELAGEM**

Têm sido colocados conceitos pertencentes a duas áreas de desenvolvimento de conhecimento, os fractais (e caos determinístico) e o *design*, que aparentemente não existiam vínculos entre elas, além da consideração de que as duas encontram-se influenciadas por um mesmo meio ambiente. Questionou-se a possibilidade de que a Natureza possa servir de fonte de inspiração para uma abordagem estruturada de conhecimento. Como é o caso em que a proposta Fractal pudesse partir da Natureza para atingir um alvo “distante” como o é a área de *Design* de Produto. A palavra “*simplicidade*” tem sido o elo entre estes três campos, levando a um trabalho conjunto que se traduz em uma nova postura frente a um problema que afeta a todos.

A partir do elo gerado, define-se que a Natureza fornece um padrão de crescimento e desenvolvimento baseado em elementos simples, conjugados de formas diversas. Os Fractais trazem uma teoria que traduz as complexas estruturas naturais, a suas raízes, voltando para os elementos simples e para a detecção da função que cria o arranjo complexo. O *Design*, neste caso, de produto, visa interpretar uma situação complexa apresentada por uma entidade natural, o ser humano. Assim, a costura feita com a simplicidade entende-se da seguinte forma: o *designer* procura entender uma estrutura complexa para o qual tem que entender sua simples interpretação, usando os fractais. Com o uso dos fractais vai ser possível interpretar um fenômeno da natureza, representado por simples elementos, sendo que o fenômeno em avaliação é o ser humano interagindo com o meio ambiente, objetivo do *designer*. Assim, tem-se o direto e conclusivo nexos entre estes três campos de conhecimento, habilitando uma janela que mostre uma opção de integrar tudo em um único propósito.

### **6.4. LIMITAÇÕES DA MODELAGEM MFD**

Apesar deste estreito vínculo feita com a Natureza, não foi possível verificar se o modelo tem uma influência direta com a geração de produtos não agressivos ao meio ambiente. Esta limitação só será verificada em futuras pesquisas no modelo proposto.

Já foi dito que há tendência a trabalhos multidisciplinares, colocando o modelo MFD como um resultado, não especificamente como resultado deste tipo de trabalho, porém como um primeiro passo na unificação do já fragmentado conhecimento, sem por isso julgar a divisão profissional, nem muito menos as pesquisas direcionadas. Este raciocínio aponta para a unificação do conhecimento através da colaboração profissional sem limites.

## 6.5. PESQUISAS FUTURAS

Ao longo da elaboração da pesquisa tem-se visto como a atitude do *designer* converteu-se em uma constante. Este aspecto já foi levantado quando se menciona o campo da Cognição, que pode ser um condicionante na atividade desenvolvida no trabalho (DIBAN *et al.*, 1999). A recomendação aponta para uma futura pesquisa na implementação no modelo, do mapa cognitivo do usuário eventual. Isto vai complementar o modelo através de uma correta predição dos possíveis desvios apresentadas pelo comportamento humano no processo de assimilação do modelo e sua constante aplicação em diversas situações. Este mapeamento permitirá otimizar a implementação do banco de dados mentais do *designer*, como consequência da aprendizagem através do método.

Um consideração importante da implementação da variável “*cognição*”, encontra-se na utilidade posterior que a mesma terá como parte do modelo. A cognição como parte do modelo, uma vez utilizada na apuração da modelagem vai estabelecer-se como elemento que possa ser empregado posteriormente pelo *designer*, para interpretar certos comportamentos de uso do consumidor.

Com base na análise de processos mais abstratos como o mental, a sugestão parte para tentar resgatar valores regionais inseridos nas pessoas, como meio de identificação de particularidades que poderiam fazer com que a proposta de produto gerada pelo *designer* tenha uma melhor incorporação no meio ambiente para o qual foi criado. Adicionalmente, esta posição permitirá uma constante avaliação do produto em desenvolvimento, não como variável, senão como constante predefinida.

Após as prévias sugestões feitas, e com a definição de um modelo mais especialista, recomenda-se fazer uma implementação prática que verifique seu alcances reais, na busca de um melhoramento do processo de *design* de produto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHTON, Philippa (1998). Learning Theory Through Practice: Encouraging Appropriate Learning. *Design Management Journal*. The Design Management Institute Press. Volume 9, number 2, 64-68.
- BAKER, Gregory L. & GOLLUB, Jerry P.. Chaotic Dynamics - an introduction. New York: Cambridge University Press, 1990, second edition 1996.
- BARNESLEY, Michael F. Fractals Everywhere. London: Academic Press Inc., 2. Ed., 1988.
- BAXTER, Mike. Projeto de Produto: guia pratico para o desenvolvimento de novos produtos. São Paulo: Editora Edgar Blücher LTDA., 1998.
- BERNSEN, Jens. Defina Primeiro o Problema. Florianópolis: SENAI/LBDI, 1995.
- BOMFIM, Gustavo Amarante. Metodologia para desenvolvimento de projetos. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 1995.
- BONSIEPE, Gui, KELLNER; Petra & POESSNECKER, Holger. Metodologia Experimental: Desenho Industrial. Brasília: CNPq/Coordenação Editorial, 1984.
- BONSIEPE, Gui. DESIGN do material ao digital. Florianópolis: FIESC/IEL, 1997.
- DA SILVA, Antonio Serra. Projecto, Metodos e Atitude. Lisboa: Design, Instituto de Investigação Industrial (INII), Núcleo de Design Industrial, 1977.
- DEVANEY, Robert L. Chaos, Fractals, and Dynamics-Computer experiments in Mathematics. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1990.
- DIBAN, David Omar Nuñez & GONTIJO, Leila Amaral. Nova Abordagem no Projeto do Produto: As Perspectivas Caótica e Fractal. *XIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção e V International Congress of Industrial Engineering*, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 1999a.
- DIBAN, David Omar Nuñez & GONTIJO, Leila Amaral. Visão Caótica e Fractal no Projeto de Produto. *Revista Tecnológica*. Universidade Estadual de Maringá: N<sup>o</sup> 8, Outubro/1999b.
- DIBAN, David Omar Nuñez & GONTIJO, Leila Amaral. O Projeto de Produto Fractal. *4<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design P&D Design 2000*, Novo Hamburgo – RS, Brasil, 2000.
- DIBAN, David Omar Nuñez; SACRAMENTO, Maria Tereza & KISTMANN, Virginia Borges. Análise Ergonômica do Trabalho de Serigrafia em uma Fábrica de Revestimento Cerâmico. *V Congresso Latino Americano & IX Congresso Brasileiro de Ergonomia*, Salvador – BH, Brasil, 1999.
- FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1988.

- FRØYLAND, Jan.** Introduction to Chaos and Coherence. **Published by IOP Publishing Ltd., 1992.**
- GLEICK, James.** Caos-A criação de uma nova ciência. **Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda., 1987.**
- GLEISER, Marcelo.** A Dança do Universo. **Rio de Janeiro: Editora Companhia das Letras, 1998.**
- INDUSTRIAL DESIGNERS SOCIETY OF AMERICA – IDSA** What is ID: ID Defined. **IDSA,1996.** <<http://www.idsa.org/>>
- INTERNATIONAL COUNCIL OF INDUSTRIAL DESIGN – ICSID.** *Industrial Design Definition.* **ICSID, 1999.** <[http://www.icsid.org/\\*iddefinition.html](http://www.icsid.org/*iddefinition.html)>
- JONES, J Christopher.** Métodos de Diseño. **Barcelona: Editora Gustavo Gili, S.A., 1978.**
- LLOVET, Jordi.** Ideología y Metodología del Diseño. **Barcelona: Editoria Gustavo Gili, S.A., 1979.**
- MANDELBROT, Benoit B..** Objetos Fractais. **Lisboa: Gradiva, 1991.**
- MANDELBROT, Benoit B..** The Fractal Geometry of Nature. **New YorkW. H. Freeman and Company, 1983.**
- MATURANA, Humberto.** La Objetividad – Un argumento para obligar. **Santiago de Chile: Dolmen Ediciones S.A., 1997.**
- McCAULEY, Joseph L..** Chaos, Dynamics and Fractals - an algorithmic approach to deterministic chaos. **Great Britain: Cambridge University Press, 1993.**
- PIETGEN, Heinz-Otto; JÜRGENS, Harmut & SAUPE, Dietmar.** Chaos And Fractals - New Frontiers of Science. **New York: Springer-Verlag, 1992.**
- PIETGEN, Heinz-Otto; JÜRGENS, Harmut & SAUPE, Dietmar.** Fractals For The Classroom - Part One, Introduction to fractas and Chaos. **New York: Springer-Verlag, 1993.**
- PUGH, Stuart.** Total Design - integrated methods for successful product engineering. **Great Britain: Addison-Wesley Publishing Company, 1991.**
- SERRA, Celso Penteado; KARAS, Elizabeth Wegner.** Fractais - gerados por sistemas Dinâmicos Complexos. **Curitiba: Editora Universitária Champagnat, 1997.**
- TASSINARI, Roberto.** El Producto Adecuado - Práctica del Análisis Funcional. **México D.F.: Ediciones Alfaomega, S.A. de C.V., 2ª edición 1995.**
- TURCOTTE, Donald Lawson.** Fractals and Chaos in Geology and Geophysics. **Great Britain: Cambridge University Press, 1992.**
- ULRICH, Karl & TUNG, Karen.** Fundamentals of Product Modularity. **Issues in Design Manufacture/Integration, Volume 39, pp. 73-79, ASME 1991**
- ULRICH, Karl T. & EPPINGER, Steven D..** Product Design and Development. **U.S.A.: Mc Graw-Hill,Inc., 1995.**

## BIBLIOGRAFIA

- AVNIR, David.** The Fractal Approach to Heterogeneous Chemistry-Surfaces, Colloids, Polymers. Great Britain: John Wiley & sons Ltd., October 1992.
- BACK, Nelson.** Metodologias de projeto de produtos industriais. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A. , 1983.
- BEACHAM, Bradley.** An introduction to the Fractint Formula Parser. February 1995. <http://fractal.mat.ca/fractint/frm-tut/frm-tutor.html>
- BOMFIM, Gustavo Amarante; NAGEL, Klaus-Dieter & ROSSI, Lia Monica.** Fundamentos de uma metodologia para desenvolvimento de produtos. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia COPPE/UFRJ Setor de Reprografia, 1977.
- BONSIEPE, Gui & WALKER, Rodrigo.** Um Experimento em Projeto de Produto: Desenho Industrial. Brasilia: CNPq/Coordenação Editorial, 1983.
- BONSIEPE, Gui.** Teoria y práctica del diseño industrial. Barcelona: Editora Gustavo Gili, S.A., 1978.
- BUCHANAN, Richard (1995).** Wicked Problems in Design Thinking. *The Idea of Design - A design issues reader.* Edited by Victor Margolin and Richard Buchanan. London: The MIT Press, 1995.
- CROSS, Nigel.** Natural Intelligence in Design. *Design Studies.* ELSEVIER: Volume 20, number 1, January 1999.
- DANIELSSON, Mats.** The Cognitive Structure of Decision Making tasks in Major Versus Minor emergency Responses. **GLOBAL ERGONOMICS - Proceedings of Ergonomic Conference, Cape Town, South Africa 9-11 september 1998.** South Africa: ELSEVIER, pp. 1998.
- DAVIS, Rhett.** Is the Study of Chaos a Science?. November 15, 1994. <http://trixie.eecs.berkeley.edu/~wrdavis/chaos/chaos-paper.html>
- DEVANEY, Robert L. .** An Introduction to Chaotic Dynamical Systems. USA: Addison - Wesley Publishing Company, Inc., 1997.
- DOMINGUES BRASIL, Antônio.** Conhecimento e uso de metodologias de desenvolvimento de produtos: uma pesquisa envolvendo 30 empresas dos estados de santa catarina e Rio Grande Do Sul. Dissertação de mestrado, Prpograma de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 1997.
- ECKHARDT, B.** *Fractals in Quantum Mechanics.* Em Chaos, Noise and Fractals. Great Britain: Malvern Physics Series; 3, edited by E.R Pike & L. Lugiato, 1987.
- EVANS, Karen G..** (Book Reviews I *Larry D. Terry, Editor*) Chaos as Opportunity: Grounding a Positive Vision of Management and Society in the New Physics. *Public Administration Review.* September/October 1996, Vol. 56, No.5, 491-494.

**FALCONER, Kenneth.** *Fractal Geometry - Mathematical Foundation and Applications.* England: John Wiley & Sons, 1990.

Fractal and Fractal Geometry. <http://tdq.advanced.org/3493/noframes/fractal.html>

**GORB, Peter.** *Design Management.* New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

**HILL, Belinda.** *Geometry without Boundaries - using technology to enhance discovery.* June 1995. <http://weber.u.washington.edu/~belinda/geotext.html>

**HUTCHISON, Doug.** *Chaos Theory, complexity and Healthcare Management Systems.* 1996. <http://www.lanchester.com/CHAOS1.html>

IBM Research. <http://www.research.ibm.com/research>

**JORDAN, Patrik W..** *Pleasure for all through inclusive design.* GLOBAL ERGONOMICS - Proceedings of Ergonomic Conference, Cape Town, South Africa 9-11 september 1998. South Africa: pp. 453-457, ELSEVIER, 1998.

**JORDAN, Patrik W..** *Popular culture and design.* GLOBAL ERGONOMICS - Proceedings of Ergonomic Conference, Cape Town, South Africa 9-11 september 1998. South Africa: pp. 467-470, ELSEVIER, 1998.

**KEYSER, Barbara Whitney.** *Ornament as Idea: Indirect Imitation of Nature in the Design Reform Movement.* *Journal of Design History.* Oxford University Press. Volume II, number 2, 1998, pp. 127-144.

**KISTMANN, Virginia Borges; FIALHO, Francisco; DIBAN, David Omar Nuñez; SACRAMENTO, Maria Tereza & GONTIJO, Leila Amaral.** *Ergonomics Work Analysis And Anthropological Methods. The Second International Conference on Ergonomics 1999,* <<http://cyberg.curtin.edu.au>>, WA – Australia.

**KIVISTO-RAHNASTO, Jouni.** *Designing of Ergonomic Products.* GLOBAL ERGONOMICS - Proceedings of Ergonomic Conference, Cape Town, South Africa 9-11 september 1998. South Africa: ELSEVIER, 1998.

**LEE, Xah.** *CurveFamilyIndex.* 1998. [http://www.best.com/~xah/SpecialPlaneCurves\\_dir/Intro\\_dir/familyindex.html](http://www.best.com/~xah/SpecialPlaneCurves_dir/Intro_dir/familyindex.html)

**MANDELBROT, Benoit.** *Fractal Geometry and Representation of Nature.* Conference On a New Space for Culture and Society. 19-23 November, 1996. <http://pconf.terminal.cz/speeches/mandeltext.html>

**Ministerio da Industria e do Comercio (MIC) & Secretaria de Tecnologia Industrial (STI).** *Aspectos Teóricos e Metodológicos do Desenho de Produtos e sua Relação com o Usuário.* Rio de Janeiro: MIC/STI, 1976.

**OVERMAN, E. Sam.** (Book Reviews I Larry D. Terry, Editor) *The New Sciences of Administration: Chaos and Quantum Theory.* *Public Administration Review.* September/October 1996, Vol. 56, No.5, 487-491.

**PEREIRA NETO, Francisco.** *Pensando nas estruturas da natureza.* *Jornal Gazeta do Povo,* Curitiba, 21/12/1997, p. 6.

**SELLE, Gert.** *Ideología y Utopía del Diseño.* Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A., 1973.