

A APLICAÇÃO DA MATRIZ DE ESTRUTURA DE PROJETO NO PROCESSO DE  
REALIZAÇÃO DE PROJETOS DE NAVIOS

Emerson Pieroni

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

Aprovada por:

---

Prof. Ricardo Manfredi Naveiro, D.Sc.

---

Prof. Francisco José de Castro Moura Duarte, D.Sc.

---

Prof. Richard David Schachter, Ph.D.

---

Prof. Emmanuel Paiva de Andrade, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MAIO DE 2006

PIERONI, EMERSON

A Aplicação da Matriz de Estrutura de  
Projeto no Processo de Realização de  
Projetos de Navios [Rio de Janeiro] 2006

VIII, 124 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,  
Engenharia Produção, 2006)

Dissertação - Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, COPPE

1. Projeto de Navios

I. COPPE/UFRJ II. Título ( série )

Dedico este trabalho aos meus pais, Juraci e Elza, e à minha irmã, Jana, pelo apoio aos meus estudos e orientações prestadas na minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Marinha do Brasil por proporcionar-me esta oportunidade de retornar à universidade para aprimorar os meus conhecimentos.

Ao meu orientador professor Ricardo Naveiro que me apoiou durante a realização deste trabalho e que me passou conhecimentos que extrapolam os contidos nesta dissertação. O trabalho foi realizado em um ambiente de liberdade e confiança, sempre com as intervenções necessárias e suficientes, que tornaram esta experiência, além de formativa, extremamente agradável.

Aos professores da COPPE pelas orientações sempre prestadas e pelos conhecimentos passados.

À Maria Monteiro de Lima e à Marise Carpenter Elias pela gentileza, pela atenção dispensada e pelo apoio dado à execução de atividades administrativas.

Aos engenheiros do Centro de Projetos de Navios da Marinha do Brasil e ao Comandante Guilherme Dionízio Alves pelos conselhos e incentivos na realização desta pesquisa.

Aos meus amigos Jorge Mendonça, Leonardo Claro e Sdepan Bogosian pelo apoio e estímulo na realização dos trabalhos.

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

## A APLICAÇÃO DA MATRIZ DE ESTRUTURA DE PROJETOS NO PROCESSO DE REALIZAÇÃO DE PROJETOS DE NAVIOS

Emerson Pieroni

Maio/2006

Orientador: Ricardo Manfredi Naveiro

Programa: Engenharia de Produção

Este trabalho mostra o estudo e a exploração do método denominado Matriz de Estrutura de Projeto para o processo de projeto de navios. Para a aplicação do método consideraram-se além dos conhecimentos oriundos da Engenharia Naval, aqueles relacionados com a Engenharia Simultânea e com o Gerenciamento de Projetos. Como método utilizou-se a Matriz de Estrutura de Projeto (*Design Structure Matrix - DSM*). Criou-se uma matriz com as principais atividades realizadas no gerenciamento de projeto e outra com as atividades realizadas na fase de concepção de um projeto de navios, comumente lecionadas na universidade, e acrescentados estudos que devem ser executados tendo em vista os conceitos de engenharia simultânea. Estas matrizes foram processadas com o intuito de reordenar a seqüência de atividades e de verificar as interações existentes entre as mesmas. Como resultado, obteve-se a visualização do processo em um grau mais aprofundado do que os modelos apresentados atualmente, a diminuição de processos iterativos e a facilitação do planejamento organizacional e das comunicações, proporcionando aos gerentes de projeto um método prático para tomada de decisão. Por fim, explicam-se diversos pontos de divergência conceitual e de observações práticas no projeto de navios.

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

## THE DESIGN STRUCTURE MATRIX APPLIED TO THE SHIP DESIGN PROCESS

Emerson Pieroni

May/2006

Advisor: Ricardo Manfredi Naveiro

Department: Production Engineering

This work shows the studying and exploring of the Design Structure Matrix method applied to the Ship Design Process. To apply the method we consider beyond the knowledge of Naval Engineering, that related with Concurrent Engineering and the Project Management. We use the Design Structure Matrix method (DSM) for this purpose. We create a matrix with the main activities carried through in the project management and another one with the activities carried through in the phase of conception of a ship design, and added studies that must be executed in view of the concepts of the Concurrent Engineering. We process these matrices to rearrange the sequence of activities execution and to verify the existing interactions among the same ones. As result, we visualize the process in a deepened degree than other models, it diminishes the iteration processes, and facilitates communications and organizational planning, providing to the manager a practical method for makes decision. Finally, we explain diverse points of conceptual divergence in the ship design.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA .....	1
1.2	MOTIVAÇÃO PESSOAL .....	5
1.3	OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO .....	6
1.4	METODOLOGIA DE TRABALHO .....	6
1.5	LIMITAÇÕES DA DISSERTAÇÃO .....	8
1.6	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	8
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>10</b>
2.1	INTRODUÇÃO .....	10
2.2	O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO .....	11
2.3	O PROJETO.....	13
2.3.1	<i>Considerações a respeito do projeto.....</i>	<i>14</i>
2.3.2	<i>Os processos de realização do projeto.....</i>	<i>29</i>
2.4	OS PROCESSOS ORIENTADOS AO PRODUTO .....	30
2.4.1	<i>Metodologia de Ulrich e Eppinger.....</i>	<i>30</i>
2.4.2	<i>Metodologia de Projeto Focada na Solução.....</i>	<i>33</i>
2.5	OS PROCESSOS DA GERÊNCIA DE PROJETOS .....	35
2.5.1	<i>Grupos de processos.....</i>	<i>36</i>
2.5.2	<i>Gerências de projeto.....</i>	<i>38</i>
2.6	A ENGENHARIA SIMULTÂNEA .....	45
2.6.1	<i>Premissas da Engenharia Simultânea.....</i>	<i>45</i>
2.6.2	<i>Características da Engenharia Simultânea.....</i>	<i>47</i>
2.7	O PROJETO DE NAVIOS .....	50
2.7.1	<i>Metodologias de projeto de navios.....</i>	<i>51</i>
2.7.2	<i>Engenharia Simultânea aplicada no projeto de navios.....</i>	<i>56</i>
2.7.3	<i>Principais ferramentas utilizadas no projeto de navios.....</i>	<i>58</i>
2.7.4	<i>Principais atividades relacionadas ao projeto de navios.....</i>	<i>58</i>
2.8	OBJETIVOS DE DESEMPENHO DE UM PROCESSO .....	72
<b>3</b>	<b>A MATRIZ DE ESTRUTURA DE PROJETO (<i>DESIGN STRUCTURE MATRIX - DSM</i>).....</b>	<b>75</b>
3.1	IMPORTÂNCIA DA DSM.....	75
3.2	TIPOS DE DSM.....	77
3.3	A DSM BASEADA EM ATIVIDADES .....	80
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO DA DSM NO PROJETO DE NAVIOS .....</b>	<b>83</b>
4.1	ANÁLISE DAS ATIVIDADES ORIENTADAS À GERÊNCIA.....	83
4.1.1	<i>Mapeamento de interações de atividades da gerência.....</i>	<i>84</i>
4.1.2	<i>Análise de interações de atividades.....</i>	<i>85</i>
4.2	ANÁLISE DAS ATIVIDADES ORIENTADAS AO PRODUTO NAVIO.....	89
4.2.1	<i>Mapeamento de interações de atividades orientadas ao produto.....</i>	<i>90</i>
4.2.2	<i>Análise de interações de atividades orientadas ao produto.....</i>	<i>94</i>
4.3	A ANÁLISE DA ESPIRAL DE PROJETO DE NAVIOS A PARTIR DOS RESULTADOS OBTIDOS .....	107
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES.....</b>	<b>114</b>

		viii
5.1	CONCLUSÕES .....	115
5.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	118
5.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	119
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>120</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação do Problema

Navios, aeronaves e automóveis são definidos como sistemas complexos tanto em termos organizacionais para o seu desenvolvimento quanto em termos do próprio produto. Para ilustrar, o processo de desenvolvimento do Boeing 777 envolveu 6800 funcionários associados a mais 10.000 técnicos e engenheiros de diversos fornecedores, exercendo funções de concepção e validação (NAVEIRO, 2001).

Sistemas complexos possuem uma característica de forte interdependência e multidisciplinaridade de seus subsistemas. Tal fato faz com que as suas equipes de projetos possuam várias pessoas envolvidas no desenvolvimento do produto por um longo tempo.

O projeto tem cada vez mais importância no processo de desenvolvimento do produto. Pesquisas mostram que um grande percentual do custo do ciclo de vida de um produto é consequência de decisões tomadas ainda em fases iniciais de projeto. Contudo, há uma necessidade de pesquisas a respeito do projeto de navios. A complexidade de um projeto de navios exige uma investigação mais cuidadosa dos processos envolvidos com o intuito de aprimorar-se a sua metodologia de execução.

Com relação à necessidade de uma maior pesquisa em projetos de navios, cita-se um trecho do artigo do professor Fernando Amorim, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, apresentado na Sociedade Brasileira de Engenharia Naval:

Os projetistas fizeram seus projetos, atendendo às necessidades de seus clientes e os navios foram construídos. No entanto, não é difícil concluir que poderiam ser melhores. Por outro lado, o contexto cada vez mais complexo

em que atuam os projetistas de embarcações, marcado, sobretudo, pela exigüidade de tempo para atender os desafios que são propostos, além da parafênalia eletrônica disponível, *indica que parece estar chegando no momento de concentrar um pouco mais de esforço na formulação do conceito de projeto preliminar em termos precisos e no desenvolvimento de uma metodologia de projeto coerente com tal conceito* (AMORIM, 2002; grifo nosso).

Há uma carência de estudos a respeito do assunto na engenharia naval, apesar do reconhecimento das empresas de diversos setores da importância do projeto no processo de desenvolvimento do produto. Conforme aponta Amorim (2002), “a teoria do projeto continua uma questão aberta na indústria naval” e “praticamente não existem textos de arquitetura naval com reflexões sobre a forma de organizar o processo de projetar um navio”. Essa falta de reflexão de como organizar o processo de projetar um navio é evidenciada em outras citações:

Os processos documentados de projeto de navios *normalmente foram desenvolvidos ao longo do tempo por tentativa e erro e o ótimo foi atingido pela evolução*. Todo projeto tem um processo, quer por desejo, quer por acidente e um bom processo, se seguido, produzirá um projeto eficiente com o mínimo de esforço e com um mínimo de tempo. Mesmo com a utilização de programas de computadores, o processo ainda está inserido dentro deste programa (LAMB, 2004; grifo nosso).

A Engenharia Simultânea tem sido julgada um sucesso em muitas situações não porque tornou o processo melhor, mas sim, porque aprimorou um processo mal projetado, o que poderia ter sido feito por outras abordagens. (LAMB, 1997).

A carência de textos e pesquisas é refletida na própria metodologia de projeto ainda aplicada na indústria naval. A forma tradicional de abordagem para o processo de desenvolvimento do projeto de navios é a espiral de projeto (EVANS, 1959). A espiral ainda é utilizada como um modelo para explicar o processo de projeto de navios nas universidades e é uma metodologia utilizada em escritórios de projeto que prevalece desde 1959 até os dias de hoje. Tal metodologia será detalhada posteriormente. Amorim (2002) coloca este estudo, que evidencia uma investigação do processo de projeto, como uma raridade na literatura naval.

*Talvez a única exceção na literatura de investigação do processo de projeto tenha sido o trabalho de Evans*, daí a força, vitalidade e permanência de suas proposições, em especial do conceito de espiral de projeto, que tem duas características muito importantes: pode ser aplicada na solução de qualquer problema de projeto do navio e busca um suporte teórico para organizar o trabalho do projetista, formalizando um caminho para resolver o problema da validação do conceito de projeto (AMORIM, 2002; grifo nosso).

Apesar desta metodologia ser reconhecida mundialmente, há uma série de discussões a respeito da espiral de projeto, principalmente com o advento de conceitos relacionados à Engenharia Simultânea e Gerenciamento de Projetos.

Alguns princípios da Engenharia Simultânea, principalmente aqueles relacionados ao paralelismo de atividades, fez com que houvesse questionamentos na validade da espiral. Alguns autores afirmam que a utilização da espiral faz com que o tempo do processo de realização do projeto fique longo e a qualidade do projeto decresça tendo em vista que converge para uma única solução que pode não ser a ótima (PARSONS *et al*, 1999; ANDRADE, 2001). Mistree *et al* (1990) colocam que as duas principais limitações da espiral de projeto são que o processo é colocado como seqüencial e a oportunidade de se incluir considerações a respeito do ciclo de vida do navio é limitada.

A abordagem tradicional para comunicar o processo inicial de projeto de navios tem utilizado a espiral de projeto desde que o modelo foi pela primeira vez articulado em 1959. Este modelo enfatiza que muitas das matérias de projeto como resistência, peso, volume, estabilidade, etc. interagem e *devem ser consideradas em seqüência*, com um aprofundamento gradual de detalhamento a cada volta na espiral. Esta abordagem pode ser classificada como baseada em um ponto, pois procura atingir um único ponto de solução no espaço de soluções do projeto. O resultado é um projeto de base que pode ser desenvolvido posteriormente ou utilizado como o ponto inicial de vários estudos de substituição. A desvantagem desta metodologia é que enquanto produz um projeto viável, pode não produzir um ótimo global. (PARSONS *et al*, 1999; grifo nosso).

Também, Cueva *et al* (2004) questionam a espiral de projeto, com a utilização dos conceitos de Gerenciamento de Projeto, relativo ao projeto atualmente em execução de uma importante plataforma para a Petrobrás:

Desde o início dos desenvolvimentos de projetos offshore, muitas metodologias foram desenvolvidas para resolver um dos principais problemas da engenharia: como gerenciar grandes projetos. *No princípio, o conceito de espiral de projeto foi adotado com sucesso, mas com a exigência crescente por custos mais baixos e prazos mais curtos, este tipo de organização mostrou-se problemático devido à tendência de "departamentalização", tornando o trabalho lento e burocratizado.* Como solução, a organização da estrutura por meio de processos pode ser aplicada, possibilitando agilidade ao trabalho e ao fluxo de informações, diminuindo o retrabalho e, conseqüentemente, o custo do projeto. No desenvolvimento conceitual da plataforma MonoBR foi aplicada uma metodologia de gerenciamento de projetos com esta organização, baseada na proposta do PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*) (CUEVA *et al*, 2004; grifo nosso).

Laverghetta (1998, p.58) aponta outro problema da representação da espiral de projeto em um nível mais aprofundado:

A espiral de projeto apresenta o processo de projeto como linear. Este não é o caso. O processo é mais bem descrito como quase-linear. A progressão de atividades normalmente procede-se de uma forma controlada, seqüencial. Contudo, todas as disciplinas de projeto envolvidas na espiral dependem de dados de entrada de outras disciplinas e fornecem dados para quase todas outras disciplinas do projeto. Devido a isso, engenheiros e projetistas devem ter acesso às informações (atualizadas ou estimadas) de cada disciplina e devem estar atentos a potenciais retroalimentações devido a mudanças causadas por dados de saída de suas disciplinas. Como resultado dessas interações, a espiral de projeto é na verdade uma malha interativa unindo a diversas disciplinas por relacionamentos físicos e fluxos de informação.

No entanto, contrário ao argumento de seqüencialidade de execução das atividades, Lamb (1997) aponta que sempre houve um certo paralelismo na execução das atividades de projeto. Ainda, modelos semelhantes à espiral são adotados atualmente em outras áreas e exemplos podem ser vistos no PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*) e em publicações da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) (BLAIR *et al*, 2001, p.23). Também, a Universidade de São Paulo (2002) está utilizando o conceito da espiral para o projeto de um navio oceanográfico. Por fim, cita-se Schachter *et al* (2005), que utilizam alguns conceitos transmitidos pela espiral de projeto:

A racionalização clássica da espiral do projeto é o meio mais conhecido da representação da síntese do processo do projeto do navio. Os fatores ou os estágios de projeto podem ser organizados e arranjados em seqüência, fornecendo um processo cíclico, aonde os dados previamente desconhecidos começam ser definidos, enquanto os fatores subseqüentes se tornam resolvidos. No projeto do navio, as alternativas podem ser expressas geometricamente e esta é uma forte motivação artística no sentido criativo. Com a espiral do projeto isto pode ser feito em conjunção com entendimento racional.

Afinal, a espiral de projeto ainda é válida? Os conceitos da Engenharia Simultânea, do Gerenciamento de Projetos e da Espiral de Projeto são excludentes ou complementares? Esta série de divergências apontadas comprova que ainda há uma falta de pesquisas aprofundadas relacionadas ao projeto de navios. Ainda, com relação à prática de projetos, conforme conclui Maurini (2005, p.105), a indústria naval fluminense, atualmente o centro da indústria naval brasileira, “carece de maturidade em gestão de projetos”.

Amorim (2002) afirma que não existe uma teoria de projeto de navios, conforme explicitado anteriormente, e coloca o que deve estabelecer essa teoria:

Uma teoria de projeto deverá estabelecer os princípios gerais do processo de projeto do navio. Também buscará articular os conhecimentos “que se propõe explicar, elucidar, interpretar ou unificar” o processo de projeto e servir como referência para sistematizar as atividades de tal processo. Estudará as relações entre o projetista e o processo de projeto. Deve buscar entender, articular e sistematizar o processo que produziu as idéias que levaram ao projeto.

Cueva *et al* (2004) apontam a necessidade de estudos relacionados ao gerenciamento de projetos aplicados à engenharia naval:

Ainda existem diversos pontos que podem ser abordados com aplicação de conceitos de gerenciamento de projetos em trabalhos de pesquisa e desenvolvimento na universidade. Porém, já é possível perceber, pelos resultados que o projeto atingiu, que este tipo de organização auxilia de forma muito boa a obtenção de resultados positivos nos projetos, devendo ser constantemente melhorada e utilizada em projetos futuros.

Com relação à aplicação da Engenharia Simultânea ao projeto de navios, Parsons *et al* (1999) afirmam que projetos avançados de navios devem utilizar a Engenharia Simultânea em todas as fases do projeto. Os sucessos apresentados principalmente na indústria automotiva (Chrysler Viper, Ford Mustang) e na aeronáutica (Boeing 777) fez com que o uso de equipes integradas de projeto fosse defendido para futuros projetos de navios nos Estados Unidos.

Do que foi exposto até o momento, conclui-se que o projeto de navios é uma área que necessita de um estudo mais aprofundado. Os principais pontos que necessitam de pesquisas são a Teoria de Projeto, o Gerenciamento de Projetos de Navios e a Engenharia Simultânea aplicada à indústria naval.

## **1.2 Motivação Pessoal**

O interesse por estudar o projeto de navios é proveniente da experiência profissional do autor. O autor desta dissertação trabalhou mais de cinco anos em atividades de execução, planejamento e controle em um escritório de projeto de navios.

O autor notou que os projetos nos quais esteve envolvido possuem um prazo exíguo de execução e que são executados por dezenas de profissionais. Isto traz grandes conseqüências quanto à organização do processo de projeto. O fluxo de informações é intenso e dinâmico em tais projetos. O problema é como organizar este tipo de processo. Conforme exposto anteriormente, há poucas referências sobre o assunto na

engenharia naval. Contudo, o autor verificou que uma série de problemas de ordem prática no projeto de navios é relatado também em outras áreas de conhecimento, principalmente na relacionada com sistemas complexos.

Por isso, a motivação do autor pelo tema da dissertação foi consequência das observações práticas devido à sua experiência de projeto concomitantemente com o conhecimento teórico tanto de projeto de navios como de outras áreas de conhecimento relacionadas ao projeto com o intuito de aprimorar o processo de projeto de navios.

### **1.3 Objetivo da Dissertação**

O objetivo desta dissertação é o estudo e exploração de um método para o projeto de navios. O método estudado e explorado é o denominado Matriz de Estrutura de Projeto (*Design Structure Matrix* - DSM). Com a aplicação deste método pôde-se investigar como o mapeamento e a análise de interações das atividades de projeto aprimoram o processo de projeto de navios, estabelecendo-se uma seqüência de realização dessas atividades. Consideraram-se tanto as atividades técnicas como as gerenciais.

Atualmente há uma série de novos conhecimentos relacionados ao gerenciamento de projetos, à engenharia simultânea e à disciplina específica de projeto. Tais conhecimentos são considerados relativamente independentes por ocasião do processo de realização do projeto de navios. Esta dissertação reúne os principais tópicos de projetos de navios, o planejamento do projeto e o paralelismo de execução de atividades técnicas de projeto.

### **1.4 Metodologia de Trabalho**

De acordo com Thiollent e Feitosa (2004), um aluno do mestrado tem como trabalho um ou mais dos seguintes itens: aplicar conceitos em projetos concretos; adquirir atitude investigativa; estabelecer conexões entre conhecimentos; observar a realidade; conceber produtos ou sistemas; comprovar hipóteses, explicações; compreensão – crítica; entre outros. Para isto, deve-se valer de teorias específicas em cada campo de conhecimento, de ciências formais, matemática e lógica e de técnicas de observação, experimentação, processamento, modelagem, simulação e projeção.

Tendo em vista o exposto, para a consecução dos objetivos deste estudo, elaborou-se o seguinte plano de trabalho:

1. Identificação do problema e contextualização
2. Levantamento bibliográfico
  - Estudo do projeto de navios;
  - Estudo da teoria de projeto de produtos;
  - Estudo da DSM;
  - Estudo do Gerenciamento de Projeto e da Engenharia Simultânea;
  - Levantamento do estado da arte de projetos de navios tendo em vista os conceitos citados nos itens anteriores;
3. Aplicação
  - Desmembramento de tais conceitos em atividades relacionadas ao projeto de navios;
  - Mapeamento das interações entre as atividades que devem ser executadas em um projeto de um navio qualquer, em fases iniciais de definição dos sistemas, englobando-se atividades técnicas e gerenciais;
4. Processamento da DSM e análise de resultados
  - Sugestão de um método para o projeto de navios.

Para a definição das atividades técnicas e mapeamento das interações utilizou-se o PNA (2000) (*Principles of Naval Architecture*), obra consagrada na Engenharia Naval, dissertações em Engenharia Naval de mestrado (Laverghetta, 1998) e doutorado (Bogosian Neto, 2005), além de artigos e apresentações do professor Thomas Lamb da Universidade de Michigan e Diretor da NAVSEA<sup>1</sup> *Ship Production Science Program and Shipbuilding Research Lab*.

Com relação aos conceitos de gerenciamento de projetos e para a definição das atividades gerenciais e mapeamento das interações utilizou-se o PMBOK (2000).

Para os conceitos de engenharia simultânea utilizaram-se artigos e textos de Zangwill (1992), Benson (1994), Kusiak (1994), Yassine e Braha (2003), Smith e Eppinger (1997) e Sosa *et al* (2004). Tópicos específicos de engenharia simultânea aplicada na engenharia naval foram retirados de Lamb (1986 e 1997).

A teoria de projeto foi retirada principalmente de Ulrich e Eppinger (2004), de Naveiro (2001) e de publicações da NASA (Blair *et al* (2001) e Ryan *et al* (1996)) junto com tópicos específicos de engenharia naval retirados da dissertação de Laverghetta (1998) e de uma apresentação feita por Thomas Lamb (2004).

Utilizou-se a DSM criada por Cho (2001) e os conceitos da DSM foram extraídos da página da internet elaborada por Eppinger *et al* (2004).

### **1.5 Limitações da Dissertação**

As atividades selecionadas para o projeto aplicam-se a qualquer navio, seja militar, seja mercante. No entanto, estas atividades não esgotam o projeto e dependendo do tipo e complexidade do navio a ser projetado, mais atividades devem ser acrescentadas. Por exemplo, para um navio militar é necessário acrescentar-se atividades para análise de assinatura radar e seleção de armamentos. Também, estas atividades representam as fases iniciais de projeto, não englobando projeto de detalhamento.

Essa dissertação aborda principalmente projetos de navios dos tipos adaptativos e variantes. Segundo Brézillon e Naveiro (2003), os dois tipos mais comuns de projeto na indústria são os projetos adaptativos e os projetos variantes. Os projetos adaptativos utilizam uma abordagem de solução já conhecida para projetar novos produtos. O projetista se apropria da concepção de um produto já existente e adapta a solução para o caso em tela. Os projetos variantes são aqueles nos quais se faz uma modificação do tamanho ou do arranjo já existente para criar um novo produto. Em tais tipos de projetos, estratégias de decomposição do problema e algumas classes de soluções já são conhecidas: há uma percepção inicial da estrutura do produto e das disciplinas necessárias para resolver os problemas que são identificados durante o projeto. Conforme apontam os autores, a inovação está presente em alguns projetos, mas geralmente os projetos consistem em pequenas modificações e melhorias incrementais de produtos existentes.

Para plataformas devem-se reformular as atividades de projeto, apesar de os conceitos globais englobarem estes tipos de sistemas.

### **1.6 Organização da Dissertação**

A seqüência de apresentação da dissertação é composta por cinco itens: Revisão da Literatura, A *Matriz de Estrutura de Projeto*, Aplicação da *Matriz de Estrutura de Projeto* no Projeto de Navios e Conclusões.

---

<sup>1</sup> Naval Sea Systems Command

No item Revisão da Literatura consta uma literatura básica para quem está iniciando os estudos relacionados ao Processo de Desenvolvimento de Produto, Engenharia Simultânea e Projeto de Navios. Abordam-se os principais conceitos do Processo de Realização do Projeto, da Engenharia Simultânea, do Gerenciamento do Projeto e do Projeto de Navios, explicando-se as atividades necessárias para o desenvolvimento do navio, para que haja um entendimento desta dissertação e um referencial para futuras pesquisas.

No item A Matriz de Estrutura de Projeto apresentam-se os conceitos relacionados a este método e a sua importância. Também se mostram quais são os dados apresentados pela Matriz, as suas principais aplicações, baseando-se em estudos realizados em várias áreas de conhecimento e, por fim, qual o tipo de matriz utilizada nesta dissertação.

No item A Aplicação da Matriz de Estrutura de Projeto no Projeto de Navios, analisam-se as interações das atividades no gerenciamento do projeto e de um projeto de navio típico. Mostra-se a aplicação da DSM no processo de realização do projeto e a análise dos resultados obtidos estabelecendo-se uma seqüência básica de realização de atividades. Também, a partir dos resultados obtidos analisa-se a espiral de projeto e as divergências conceituais relacionadas a tal modelo.

Por fim, no item Conclusão apresentam-se as conclusões deste trabalho e sugere-se novos estudos a serem realizados.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Introdução**

Este item aborda brevemente conceitos e a literatura básica do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), da Teoria de Projetos Genérica e do Projeto de Navios. A finalidade é prover estudantes e pesquisadores de uma bibliografia básica para o início dos estudos nestas áreas e os conhecimentos necessários para o entendimento desta dissertação.

Dentre as áreas citadas, respectivamente, dois trabalhos servem como alicerce para qualquer tipo de pesquisa focada no projeto: Krishnan e Ulrich (2001) e Lamb (2004). Krishnan e Ulrich apresentam uma revisão literária de pesquisas realizadas na área de desenvolvimento de produtos, abordando as áreas de marketing, de gestão de operações e de projeto de engenharia. Lamb apresenta conceitos importantes sobre projetos focando na área naval e uma revisão literária sobre projetos de navios militares e comerciais, engenharia de sistemas, otimização e síntese do projeto de navios, formas do casco, arranjo geral e estrutural, sistemas especializados, realidade virtual, projeto de engenharia e detalhamento e projeto para construção.

Dois outros trabalhos proporcionam uma visão aprofundada do projeto de navios: Lamb (1986) e Laverghetta (1998). Lamb mostra no seu relatório o projeto, a engenharia e a organização voltados à produção de navios apresentando uma visão aprofundada do projeto de navios voltado à construção. Laverghetta apresenta na sua dissertação uma abordagem sistemática da dinâmica do projeto de navios militares, apresentando as influências externas do processo de projeto e a dinâmica do processo de projeto, de realização de atividades e da espiral de projeto utilizando para isto a estrutura norte-americana de projetos de navios militares.

Duas outras publicações apresentam a teoria do projeto por meio de lições aprendidas no projeto de veículo lançadores de satélite na NASA: Blair *et al* (2001) e Ryan *et al* (1996). Tais publicações apresentam a metodologia, os conceitos básicos de projeto, e uma série de pontos que devem ser observados, obtidos da prática e da teoria de projeto.

## **2.2 O Processo de Desenvolvimento do Produto**

É grande a importância do desenvolvimento de novos produtos pelas empresas para que possam se manter de forma competitiva no mercado. O sucesso econômico de empresas de manufatura depende de suas habilidades em identificar as necessidades dos consumidores e rapidamente criar produtos que satisfaçam estas necessidades e que possam ser produzidos a um baixo custo.

Segundo Ulrich e Eppinger (2004, p.2), o Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP) é um conjunto de atividades que começam com a percepção de uma nova oportunidade de mercado e termina na produção, comercialização e entrega do produto. Os autores mostram que o desenvolvimento de produtos é uma atividade interdisciplinar que requer a contribuição de quase todos os setores de uma empresa. No entanto, apontam três funções que normalmente desempenham um papel central no desenvolvimento do produto: marketing, projeto e produção.

A equipe de marketing gerencia as interações entre a empresa e consumidores e tem um papel chave na identificação de oportunidades, a definição de segmentos do mercado para o produto e a identificação das necessidades dos consumidores que são passadas para a equipe de projeto. A equipe de projeto define a forma física do produto que melhor atende às necessidades do consumidor. Por fim, a equipe de manufatura é responsável pelo projeto e operação do sistema de produção de forma a produzir o produto.

Apesar de estas três funções interagirem durante todo o desenvolvimento do produto, cada uma delas tem um papel central de acordo com a fase de desenvolvimento. O nível de atividades de Marketing é alto na fase de planejamento, no início do processo, o de atividades de Projeto sobressai na fase de execução, no meio do desenvolvimento e, por fim, o de atividades de Manufatura é maior na fase de produção, no fechamento do processo de desenvolvimento.

Há diferenças de abordagem do PDP de acordo com a área científica. Krishnam e Ulrich (2001) colocam que há ao menos quatro perspectivas comumente verificadas na comunidade científica de projeto e desenvolvimento: marketing, organizações, projeto de engenharia, e gerenciamento de operações. Estas diferenças de perspectivas, segundo os autores, não residem apenas na metodologia utilizada e hipóteses feitas, mas também na conceituação de como o desenvolvimento do produto é realizado. Isto ocorre, em parte, devido à enorme diversidade de empresas de desenvolvimento do produto e a dificuldade de desenvolver uma única teoria generalizada que englobe todas estas diferenças. O quadro 1 ilustra estas diferenças de perspectiva. No entanto, Krishnam e Ulrich (2001) apontam que enquanto a maneira que produtos são desenvolvidos difere não somente entre as diversas empresas, mas também na mesma empresa ao longo do tempo, o que está sendo decidido parece se manter muito consistente em um certo nível de abstração.

	<b>Marketing</b>	<b>Organizações</b>	<b>Projeto de Engenharia</b>	<b>Gerenciamento de Operações</b>
<b>Perspectiva no produto</b>	Um produto é um conjunto de atributos.	Um produto é um artefato resultante de um processo organizacional.	Um produto é uma montagem complexa de componentes que interagem entre si.	Um produto é uma seqüência de desenvolvimento e/ou etapas de processo de produção.
<b>Métrica de performance típica</b>	“Ajustar com o mercado”, Segmento de mercado, utilidade para consumidores, (às vezes lucro).	Sucesso do projeto.	“Forma e função”, performance técnica, inovação, às vezes custo direto.	Eficiência, custo total, nível de serviço, tempo de entrega, diagrama de fluxo do processo, modelos paramétricos de desempenho do processo.
<b>Paradigma representante dominante</b>	Utilidade para o cliente como função de atributos do produto.	Não há paradigma dominante. Rede organizacional às vezes é usada.	Modelos geométricos, modelos paramétricos de performance técnica.	Seqüência e planejamento do processo de desenvolvimento Pontos de diferenciação no processo de produção.
<b>Exemplo de variáveis de decisão</b>	Nível de atributos do produto, preço.	Estrutura da equipe de desenvolvimento do produto, incentivos.	Tamanho do produto, forma, configuração, função, dimensões.	Seleção de fornecedores e materiais.
<b>Fatores críticos de sucesso</b>	Posicionamento do produto e preço, coletar e atender as necessidades dos consumidores.	Alinhamento organizacional, características da equipe.	Concepção e configuração criativa, otimização do desempenho.	Projeto da seqüência de produção, Gerenciamento do projeto.

Fonte: Adaptado de Krishnam e Ulrich, 2001.

Quadro 1 - Comparação de perspectivas das comunidades acadêmicas de marketing, organizações, projeto de engenharia e gerenciamento de operações.

O PDP é bem abordado por Ulrich e Eppinger (2004) que preconiza 6 fases de desenvolvimento do produto: a fase de planejamento, a fase de concepção do produto, a fase de projeto em nível de sistemas, a fase de projeto de detalhamento, a fase de testes e refinamento e, por fim, a fase de produção.

A fase de planejamento lida com a identificação das necessidades dos consumidores estabelecendo as especificações da missão do projeto que servirá como base para as fases subsequentes. Esta fase considera oportunidades identificadas de desenvolvimento do produto por várias fontes, incluindo sugestões do setor de marketing, do setor de pesquisas, de clientes, de equipes de desenvolvimento de produtos entre outros. Dentre as diversas oportunidades, escolhe-se um conjunto de projetos. Com este conjunto de projeto definem-se prazos e alocam-se recursos.

As fases de concepção do produto, a fase de projeto em nível de sistemas, a fase de projeto de detalhamento e a fase de testes e refinamento constituem-se no projeto do produto em sentido estrito e será abordada adiante.

Por fim, na fase de produção o produto é confeccionado utilizando-se do sistema de produção idealizado para a produção do produto. O objetivo desta fase é treinar a mão-de-obra e verificar possíveis problemas do processo de produção.

O PDP tem um sentido mais amplo que o projeto. A seguir detalha-se o projeto.

### **2.3 O Projeto**

Não há uma definição de projeto aceita universalmente (SLACK *et al*, 2002, p.118, NAVEIRO, 2001, p.31). Naveiro (2001, p.33) coloca que existem várias definições propostas para projeto, todas incompletas e muito dependentes da formação e da experiência profissional de quem opina. Naveiro e Borges (1997) definem projeto como uma atividade que produz uma descrição de algo que ainda não existe, porém capaz de viabilizar a construção desse artefato em criação. Já Slack *et al* (2002, p.118) definem como o processo conceitual através do qual algumas exigências funcionais de pessoas, individualmente ou em massa, são satisfeitas através do uso de um produto ou de um sistema que representa a tradução física do conceito. Como um outro exemplo de definição, o PMBOK (2000, p.4) define projeto como um empreendimento temporário com o objetivo de criar um produto ou serviço único.

Naveiro (2001) coloca que o projeto é utilizado na bibliografia como o resultado do trabalho e, algumas vezes, como o processo utilizado para alcançar o resultado. O autor utiliza o termo processo de projeto para denotar a atividade e progressão do projeto e processo de realização do projeto para denotar o processo completo, o todo, semelhante ao PDP. Nesta dissertação adotar-se-á a palavra projeto para as

atividades executadas entre o estabelecimento da missão, incluindo o planejamento do processo de projeto, e a produção do produto navio.

### **2.3.1 Considerações a respeito do projeto**

Antes de apresentar os processos de projeto é necessário tecer algumas considerações a respeito de alguns pontos importantes. Diversos autores apontam características variadas do projeto e salientam pontos de acordo com a área de estudo. Para esta dissertação, alguns pontos que fazem parte do projeto de produtos devem ser salientados:

- 1) Alto nível de incerteza no início do projeto;
- 2) Interfaces entre elementos do produto;
- 3) Interações entre membros da equipe;
- 4) A iteratividade no desenvolvimento de projeto do produto;
- 5) Complexidade no estabelecimento de necessidades e restrições do projeto;
- 6) Processos coletivos em projetos de engenharia.

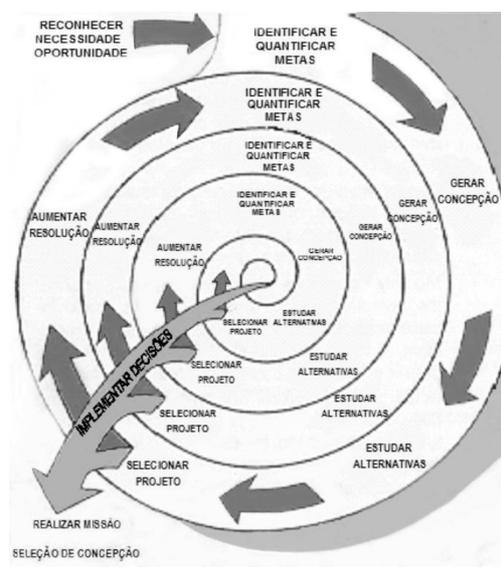
#### **Alto nível de incerteza no início do projeto**

O alto nível de incerteza no início do projeto existe pelo fato de os problemas a serem enfrentados pelos projetistas são mal estruturados ou incompletos (Naveiro, 2001, p.31). Conforme aponta Slack *et al* (2002, p.121) um projeto inicia-se como uma idéia mais geral, mal definida, mesmo vaga, do que poderia ser uma solução adequada para uma necessidade sentida. Blair *et al* (2001, p.23) aponta que quando o processo de projeto é iniciado, há uma considerável incerteza (risco) associada com a viabilidade técnica, de prazo e de custo e, também, a base de conhecimento pode ser muito limitada.

Uma conseqüência do nível de incerteza do projeto está relacionada ao seu processo de resolução. Naveiro (2001, p.37) coloca que o projeto é considerado como um tipo de problema pertencente à classe dos problemas abertos, isto é, uma categoria de problemas onde os condicionantes não são capazes de delimitar inteiramente o espaço de soluções. A resolução deste tipo de problema é feita com duas abordagens: decomposição do processo em fases e decomposição do projeto em partes menores.

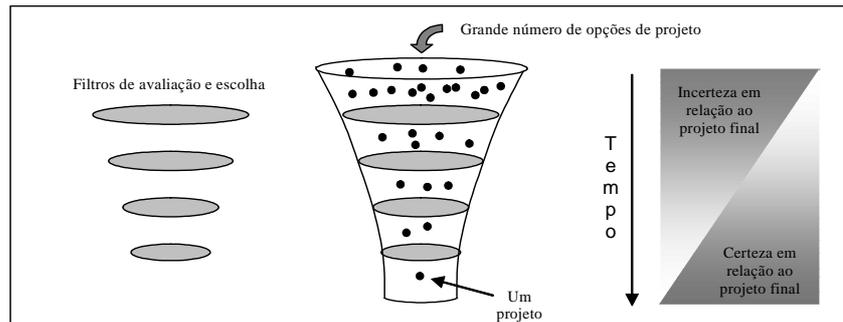
A primeira abordagem, a divisão do projeto em várias fases, visa ao refinamento e ao detalhamento progressivo da idéia original. Tal divisão provê disciplina e ordem enquanto demonstra a evolução da maturidade técnica com aderência aos custos e prazos (BLAIR *et al*, 2001, p.23). Com o tempo, essa idéia original é refinada e progressivamente detalhada até que contenha informação suficiente para ser transformada no produto. Cada fase é marcada pela conclusão de um ou mais subprodutos da fase (PMBOK, 2000). De acordo com o PMBOK (2000), a conclusão de uma fase é geralmente marcada pela revisão dos principais subprodutos e pela avaliação de desempenho do projeto tendo em vista: (a) determinar se o projeto deve continuar na sua próxima fase e (b) detectar e corrigir erros a um custo aceitável. O detalhamento de cada fase do projeto será feito posteriormente.

A espiral de projeto (figura 1) ilustra a idéia do refinamento progressivo. Tal refinamento foca a atenção na convergência do processo a uma concepção do produto. À medida que o projeto caminha ao centro da espiral, as concepções são estudadas e abordadas com relação à satisfação de todas as necessidades e restrições do projeto. A cada ciclo da espiral o aprofundamento nos estudos dos sistemas é maior. Conforme o projeto caminha em direção ao centro da espiral, o número de alternativas é menor e o conhecimento a respeito do projeto maior, com menor nível de incerteza (figura 2).



Fonte: Adaptado de Blair *et al* (2001, p.23)

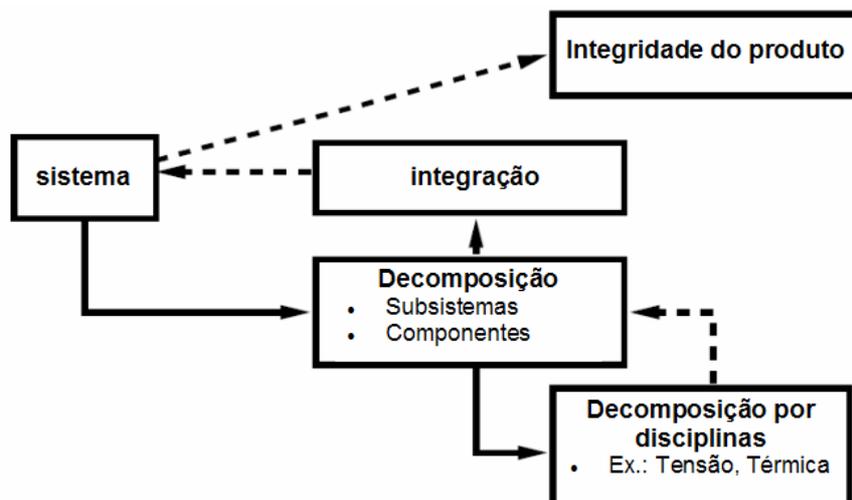
Figura 1 - Espiral de projeto



Fonte: Slack *et al* (2002, p.122)

Figura 2 - O funil de projeto

A segunda abordagem, a decomposição do projeto em partes menores, visa a diminuir o problema em subproblemas de forma a conseguir uma delimitação ou definição completa. As divisões comumente encontradas são a do produto e a da organização. Os escritórios de projeto dividem o produto em subsistemas e componentes que reúnem características específicas e que podem ser abordadas por equipes especializadas. Assim, o projeto de um sistema complexo transforma-se em uma coletânea de projetos de menor envergadura permitindo a utilização das especialidades de conhecimento e da indústria. A subdivisão do projeto pode ser feita usando-se critérios funcionais ou hierárquicos (NAVEIRO, 2001, p.35). A figura 3 ilustra um processo de decomposição.



Fonte: Adaptado de Ryan *et al* (1996)

Figura 3 - Processo de decomposição do produto

Browning (2001) aponta a estreita relação entre a decomposição do produto e da organização. O autor aponta pesquisas que mostram que a arquitetura do produto tem

uma grande influência na estrutura apropriada da organização do desenvolvimento de produto, pois os elementos organizacionais são atribuídos tipicamente para desenvolverem vários componentes do produto. A facilidade da decomposição e da integração organizacional é atrelada à natureza da decomposição do produto. Inversamente, uma estrutura de organização estabelecida pode confinar a consideração de arquiteturas alternativas do produto. Por isso, o autor afirma que uma compreensão melhor do relacionamento entre arquiteturas do produto e estruturas de organização é uma área promissora para futuras pesquisas.

O PMBOK (2000, p.59) aponta algumas formas de decomposição do projeto. Uma delas é a Estrutura Analítica de Projeto (EAP) (WBS - *Work Breakdown Structure*). A EAP é um agrupamento de componentes de projeto (orientado para a elaboração de subprodutos) que organiza e define o escopo total do projeto. Cada nível descendente representa um incremento no detalhamento da descrição dos elementos do projeto. Este documento pode ser um documento novo (ex.: projetos originais), ou ser um documento reaproveitado de trabalhos anteriores (ex.: projetos adaptativos), podendo ser até bem definido, como no caso da indústria naval, para a qual o WBS foi modelado ao longo do tempo. No caso de projetos de navios é comumente utilizada a *Ship Work Breakdown Structure* (SWBS) e a *Expanded Ship Work Breakdown Structure* (ESWBS). Frisa-se que uma empresa pode utilizar os sistemas de decomposição concomitantemente.

O PMBOK (2000, p.61) exemplifica outras estruturas comumente utilizadas em algumas áreas de aplicação como a Estrutura de Decomposição Organizacional (*Organizational Breakdown Structure*), a Estrutura de Decomposição de Recurso (*Resource Breakdown Structure*), a Lista de Materiais (*Bill of Materials*) e a Estrutura de Decomposição do Projeto (*Project Breakdown Structure*).

No entanto, quando decomparamos o produto criamos interfaces de projeto entre os elementos do produto e aumenta o nível de interação entre os membros da equipe.

### **Interfaces entre elementos do produto**

No domínio da arquitetura do produto, Sosa *et al* (2004) definem como interfaces de projeto entre um componente *i* e um componente *j* quando o primeiro (*i*) depende do segundo (*j*) para funcionalidade. Exemplificando, o componente *j* impõe restrições

geométricas ou transfere força, material, energia e/ou sinais ao componente  $i$  para funcionamento.

Naveiro (2001, p.35) ressalta a importância da elaboração de uma interface clara entre os subsistemas de forma que se possa identificar, ao longo do processo, os condicionantes que se estabelecem entre eles. Neste mesmo sentido, Yassine *et al* (2003) apontam que a decomposição ajuda a resolução da complexidade técnica do projeto; contudo, aumenta a complexidade gerencial. A síntese dos diversos elementos (ou subsistemas) em um produto final requer a identificação e o entendimento das inter-relações entre os diversos elementos.

O projeto de um produto é um conjunto de projetos de seus sistemas, componentes e partes. Como qualquer projeto, cada sistema terá os requisitos e restrições para o seu dimensionamento. Grande parte destes requisitos e restrições é devida à interface com os outros sistemas. Portanto, o estabelecimento de uma interface clara nada mais é do que o estabelecimento de requisitos e restrições para o projeto do sistema. Tal estabelecimento de requisitos e restrições será abordado adiante com maior profundidade.

A existência de interfaces entre os diversos subsistemas é um dos motivos de haver a troca de informações entre as diversas equipes de projeto. Yassine *et al* (2003) apontam outros elementos que requer a troca de informação entre as equipes, tais como atributos de desempenho esperados pelo consumidor e requisitos de engenharia que o produto deve satisfazer.

### **Interações entre membros da equipe**

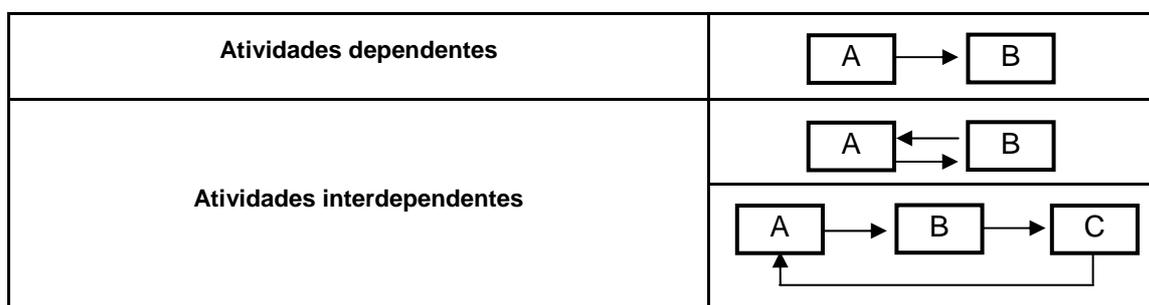
No domínio organizacional, Sosa *et al* (2004) definem como interação entre uma equipe de projeto  $i$  e uma equipe de projeto  $j$  quando a primeira equipe ( $i$ ) requer informações técnicas diretamente da segunda equipe ( $j$ ) durante a fase de projeto. Portanto, nesta dissertação utilizar-se-á a palavra interação como a troca de informações técnicas entre membros da equipe de projeto para a realização de suas atividades.

Quando se inicia um projeto, as equipes começam a projetar seus sistemas de acordo com os requisitos e restrições encontradas e em determinada seqüência. À medida que um sistema é delineado, ele fornece dados de saída para outros sistemas serem projetados. As equipes de projeto trocam informações sobre estes dados de entrada e

saída para o projeto de seus sistemas. A esta troca de informações entre os membros da equipe para a realização de suas atividades é dado o nome de interação.

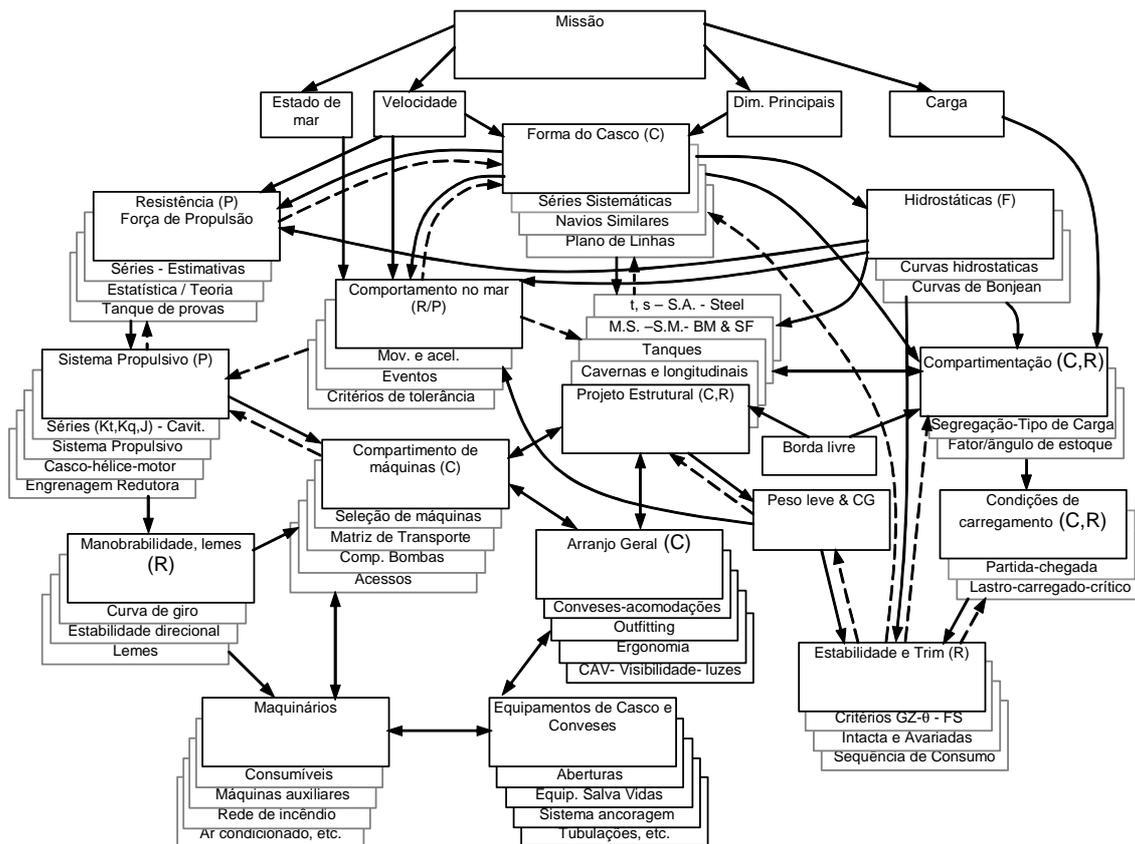
Com relação às estas atividades realizadas no projeto, há dois tipos de relacionamentos: as atividades dependentes e as atividades interdependentes (quadro 2). Um par de atividades é dito dependente quando somente uma dessas atividades depende de informações da outra atividade. Um par de atividades é dito interdependente quando o dado de entrada de uma atividade é o dado de saída da outra e vice-versa. Por fim, há um conjunto de atividades que também podem ser definidas com interdependentes, pois indiretamente o resultado de uma influenciará no resultado das outras (quadro 2).

Estes três relacionamentos entre as atividades fazem com que haja interações entre as equipes de projeto. Portanto, é necessário estabelecer as interações necessárias entre as equipes de projeto para a solução do problema. Conforme aponta o PMBOK (2000) as interações podem ser diretas e claras, ou podem ser incertas e sutis e uma ação, ou a falta de ação em uma área geralmente afeta outras áreas.



Quadro 2 - Tipos de relacionamento entre as atividades

Durante um projeto há milhares de interações entre os membros das equipes. Por isso o projeto é dito como interativo. Projetos de sistemas complexos apresentam um número elevado de atividades que são conectadas entre si, podendo ser o relacionamento entre elas conforme apresentado no quadro 2. Isto faz com que algumas mudanças de dados de saída de uma atividade possam se propagar pelo restante das atividades do projeto podendo até inviabilizá-lo. A figura 4 ilustra um processo de projeto de navios com suas interações.



Fonte: Adaptado de Schachter *et al* (2005).

Figura 4 – Gráfico de Interação – Idealização de um navio mercante genérico, usado exclusivamente para propósitos acadêmicos

As interações necessárias para a resolução de atividades dependentes geralmente são simples e diretas, bastando uma equipe passar as informações para a outra equipe. No entanto, as atividades interdependentes necessitam de uma abordagem mais complexa que será explicitada adiante.

### **A iteratividade no desenvolvimento do projeto de produto**

Segundo o dicionário Aurélio, iteração é repetição, é o processo de resolução (de uma equação, de um problema) mediante uma seqüência finita de operações em que o objeto de cada uma é o resultado da que a precede.

Segundo Ulrich e Eppinger (2004, p. 16) iteração é a repetição de atividades aparentemente completas. Pode ser devido a diversos fatores, quando novas informações tornam-se disponíveis ou resultados são aprendidos, fazendo com que se volte um passo atrás e repita determinada atividade antes de se prosseguir o projeto.

Nesta dissertação qualquer repetição de uma atividade já executada devido a diversos fatores, como exemplo, a interdependência de atividades, descoberta de erros, entre outros será tratada como iteração. Esta é uma característica inerente do projeto. Smith e Eppinger (1997) afirmam que os processos iterativos não são difíceis de encontrar na prática, porém são raros na literatura. O número de estudos de processos iterativos cresceu desde 1997 sendo o artigo de Smith e Eppinger (1997) citado dezenas de vezes na literatura. Apesar de o projeto apresentar processos iterativos, o estudo desta característica tomou força após a utilização da *Design Structure Matrix*. Tal fato ocorreu devido à falta de ferramentas para modelagem destes processos. Cho e Eppinger (2005) colocam que as técnicas tradicionais de mapeamento do processo como CPM (*Critical Path Method*) e PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) possuem capacidades limitadas de mapeamento.

Atualmente há um número razoável de estudos de processos iterativos, porém não há ainda uma abordagem completa de como estes processos se apresentam ao longo do projeto. Por isto, buscou-se listar e classificar os tipos de iterações de acordo com a abordagem de alguns autores apresentadas no quadro 3 e que serão explicitadas adiante.

<b>Tipos de iteração<sup>2</sup></b>	<b>Motivos que levam à iteração</b>	<b>Exemplos de autores</b>
<b>Planejadas</b>	Atividades interdependentes	Smith e Eppinger (1997), Yassine e Braha (2003).
	Fases do projeto	Lamb (2004), Blair <i>et al</i> (2001), PMBOK (2000)
<b>Não planejadas</b>	Novas informações disponíveis	Ulrich e Eppinger (2004, p.16), Lamb (2004), Yassine e Braha (2003)
	Erros de planejamento da seqüência de realização de atividades	Smith e Eppinger (1997), Lamb (2004)

Quadro 3 - Tipos de Iterações

Yassine e Braha (2003, p.169) classificam as iterações como planejadas e não-planejadas. As iterações planejadas são aquelas que devem ocorrer para a solução do problema. Elas são identificadas e planejadas antes do início do processo para que ocorram e não são nocivas ao projeto, pelo contrário, elas são necessárias à solução do problema. No entanto, as iterações não planejadas não são esperadas no processo. Elas são identificadas ao longo da execução do projeto e faz com que haja um retrocesso e atraso no projeto. Estes tipos de iterações são inconvenientes ao projeto.

<sup>2</sup> Classificação dada por Yassine e Braha (2003, p.169).

A iteração é uma consequência do alto nível de incerteza no início do projeto e da interatividade do projeto. Como visto, há uma falta de conhecimento no início do projeto que faz com que sejam feitas estimativas para determinados dados para o projeto dos sistemas do produto. Além disto, foi visto que há uma grande interdependência entre os diversos sistemas o que faz com que a mudança de alguns dados se propague para o restante do projeto. Por isto, é necessária a repetição de atividades de projeto e ela ocorre por diversos motivos.

O primeiro motivo para haver uma iteração é o caso de interdependência de atividades (quadro 2 - atividades interdependentes). Este é o caso mais estudado. Para a solução deste tipo de problema, primeiro deve-se estimar um valor de entrada para a atividade A que na verdade é uma estimativa para o dado de saída da atividade B ainda não realizada. Com o dado de saída da atividade A, tem-se o dado de entrada da atividade B. Executa-se a atividade B e tem-se, portanto, um dado de saída de B que é o dado de entrada da atividade A. Compara-se o dado de saída da atividade B com o valor estimado inicialmente para a atividade A. Caso a estimativa esteja dentro dos padrões estabelecidos, o processo segue em frente. Caso há uma divergência além dos limites preestabelecidos, há a necessidade de repetição do processo.

Um exemplo para a interdependência é um caso do projeto de navios. A definição da geometria do casco do navio depende, dentre outros dados, do peso da estrutura. A definição da estrutura, por sua vez, depende da definição da geometria do casco. É um processo de solução iterativo. Dados os condicionantes do projeto, define-se determinada geometria de casco e estima-se o peso estrutural (atividade ainda não realizada, pois depende da geometria do casco). De posse da geometria do casco, procede-se o cálculo estrutural. Uma das saídas do cálculo é o peso da estrutura. Compara-se o peso da estrutura com o peso estimado para a definição do casco. Caso haja divergência, ou se altera o casco ou se altera a estrutura, que deve ser decidido pelo arquiteto naval e há uma nova iteração.

Um outro exemplo é dado por Yassine e Braha (2003, p.169) para o desenvolvimento de um trocador de calor que depende de três variáveis: temperatura, fluxo de calor e coeficiente de transferência de calor. O valor de cada um destes parâmetros depende dos outros dois; portanto, para determinar os parâmetros do projeto, há a necessidade de estimar-se um valor inicial. Por exemplo, estimando-se a temperatura, pode-se calcular o fluxo de calor que levará ao valor do coeficiente de transferência de calor. Este, por sua vez, permitirá o cálculo da temperatura e o processo é repetido.

O segundo caso de iteração planejada é o desenvolvimento do projeto por fases. Conforme visto, há uma grande interdependência entre os sistemas e um conhecimento incompleto no início do projeto. Por isto, nas fases iniciais do projeto faz-se o dimensionamento preliminar dos diversos sistemas. Uma série de estimativas são feitas ao longo da fase e, em fases posteriores, ajusta-se essas estimativas com os valores de saída da primeira fase. Há uma margem de erro esperada no dimensionamento dos sistemas. Lamb (2004) aponta que devido à falta de conhecimento completo nas diferentes fases quando as decisões são tomadas, é tradicional reexaminar tais decisões em fases posteriores quando há um conhecimento maior a respeito do produto. Este processo de reexaminação é a tradicional natureza iterativa do projeto e é reconhecida como uma parte integral do processo.

Um terceiro caso de iteração, que não é planejada, é o surgimento inesperado de novas informações. A diferença entre este caso e o anterior é que esta nova informação não estava esperada dentro da margem de erro estimada do projeto de acordo com as fases. Ulrich e Eppinger (2004, p.16) colocam que a natureza incerta do projeto faz com que, em quase todas as fases, informações novas podem tornar-se disponíveis. Yassine e Braha (2003, p.169) apontam que estas novas informações podem ser uma mudança de dados de entrada ou descoberta de erros, mudança de requisitos, ou falhas de projeto na satisfação de requisitos. Neste caso, o gerente de projetos deverá decidir se esta nova informação deve ser abordada ainda na fase de projeto que se encontra, fazendo com que a equipe tenha que voltar um passo atrás e repetir uma atividade já executada antes, ou deixá-la para uma fase posterior de projeto, conforme visto antes. Tudo dependerá do impacto da nova informação no projeto.

Além das iterações mostradas, há aquelas existentes devido à seqüência errada de execução de atividades. Um par de atividades meramente dependente pode se tornar interdependente devido a erros de seqüência de execução. Para exemplificar, toma-se o caso de quando uma atividade B depende de informações de uma atividade A para ser executada. Se A for executada primeiro, B terá as informações necessárias para a sua execução. No entanto, se a atividade B for executada primeiro, terá que ser estimado um valor de saída da atividade A para se obter a informação necessária à sua consecução. Neste caso haverá necessidade de um processo iterativo para a solução do problema, pois após a atividade A ser executada, deverá ser verificado se o valor de saída de A está de acordo com a estimativa feita para a execução da

atividade B. Há várias pesquisas relacionadas ao assunto e com aplicação da *Design Structure Matrix*. Ulrich e Eppinger (2004, p.334), Smith e Eppinger (1997), Yassine e Braha (2003) abordam este tipo de problema.

Smith e Eppinger (1997) mostram que há duas maneiras de acelerar um processo de desenvolvimento iterativo: executar iterações mais rápidas; e conduzir um menor número de iterações. As iterações mais rápidas conseguem-se por meio de várias maneiras como modelos de engenharia e tecnologia de informação. Consegue-se um menor número de iterações quando atividades interdependentes podem antecipar o resultado de cada uma ou quando atividades são retiradas do processo iterativo ou reordenadas. Estes itens serão abordados em maior profundidade posteriormente.

### **Complexidade no estabelecimento de necessidades e restrições do projeto**

O primeiro ponto a ser observado no projeto é que ele tem como objetivo satisfazer as necessidades dos consumidores. A missão do novo produto a ser projetado já foi delineada pela equipe de marketing e passada para a equipe de projeto. Portanto, o primeiro passo para um projeto é definir quais são as necessidades específicas dos consumidores para que se encontre uma solução viável de um novo produto.

A definição destas necessidades nem sempre é uma atividade simples. É algo complicado traduzir as necessidades do homem em parâmetros de projeto. Por isto, a equipe de projeto deve interagir com quem formula as necessidades de forma a transformá-las em parâmetros de projeto que tenham uma métrica. Também, muitas das necessidades se contrapõem ou encontram restrições, ou seja, para melhorar determinado parâmetro há prejuízo de outro. Por exemplo, um carro que atinja 250 km/h será normalmente mais caro do que um que atinja 160 km/h. Neste caso, os parâmetros de custo e velocidade se contrapõem e a equipe de projeto deve identificar qual é o parâmetro que tem maior importância para aquele que necessita do produto.

No entanto, o conjunto de necessidades não é o único dado de entrada do projeto. Junto com as necessidades existem as restrições que balizam os diversos constituintes do projeto. As restrições podem ser de vários tipos, podendo variar desde restrições tecnológicas e legais até restrições circunstanciais tais como custo, tempo, desempenho, etc. Este conjunto formado de necessidades e restrições é denominado por Naveiro (2001, p.36) de condicionantes do projeto (figura 5). Outros sinônimos são utilizados para os condicionantes, tais como requisitos e especificações de projeto.

Ulrich e Eppinger (2004, p.73) colocam que a especificação do produto consiste de métrica e valor. A definição dos condicionantes servirá como base para as demais fases do projeto.

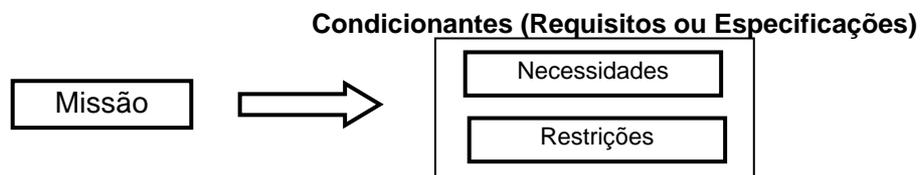


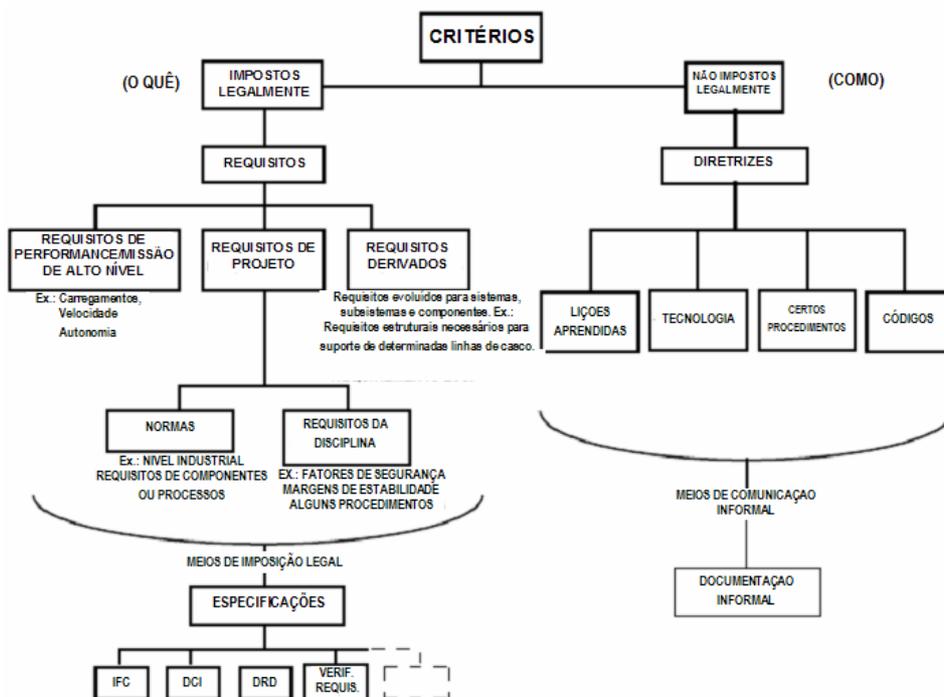
Figura 5 – Estabelecimento dos condicionantes.

Por fim, há uma série de condicionantes que ainda não podem ser determinados nesta fase. Conforme visto anteriormente, há a incerteza do processo e o conhecimento destes condicionantes virá de acordo com a evolução do projeto. Entre as partes decompostas do produto há interfaces que fazem com que os resultados obtidos com o projeto de determinado subsistema sejam dados de entrada para o projeto de outros subsistemas. As interfaces entre os subsistemas são transformadas em requisitos e restrições para projetá-los. As diversas equipes de projeto identificam as interfaces e estipulam as especificações necessárias para os seus projetos mediante um processo de negociação. Para o projetista desenvolver um subsistema, além de ter que considerar as restrições e requisitos próprios necessita de dados de outros subsistemas. Por isso, os condicionantes do projeto deverão ser revistos em fases posteriores quando o conhecimento do produto for aprofundado.

Ryan *et al* (1996, p.9) apresentam um exemplo de divisão dos condicionantes do projeto de veículos lançadores e os chamam de critérios de projeto (figura 6). Os autores dividem os critérios em impostos legalmente e não impostos legalmente. Os critérios impostos legalmente são requisitos que governam o projeto. Programaticamente o sistema deve atender a estes requisitos e eles devem ser verificáveis no produto. Caso os requisitos não sejam atendidos deve-se reformulá-los. Por isso eles são chamados de “o que” o projeto deve atender. Já os requisitos não impostos legalmente são aqueles que apesar de não serem vinculados legalmente ao projeto, servem como diretrizes ou manuais para o projeto. Eles não são verificáveis no produto, no entanto facilitam a comunicação para o projeto. São guias de “como” se deve conduzir o projeto. São conhecimentos dos projetistas adquiridos com a experiência explicitados em documentos. Estes documentos apresentam as lições aprendidas de projetos anteriores, base de dados, manuais, procedimentos,

ferramentas que aumentam a comunicação e a transferência de conhecimentos. Alguns destes requisitos, devido a sua importância no projeto, podem se transformar em requisitos legalmente impostos e de observância necessária durante o projeto.

Os requisitos impostos legalmente para o projeto dos veículos lançadores são divididos em 3 categorias. A primeira categoria, os requisitos de performance, coloca parâmetros como velocidade, carregamentos, autonomia que o veículo deverá atender. A segunda divide-se em padrões (processos e equipamentos aprovados pela indústria) e requisitos da disciplina que incluem processos especiais, margens de segurança, redundância entre outros. A terceira categoria são os requisitos derivados. Estes requisitos surgem de acordo com o progresso do projeto para que determinado sistema atenda a requisitos de performance. Como exemplo, são requisitos especiais de estrutura para suportar determinada linha de casco, requisitos de vibração para a utilização de determinado tipo de equipamento. Tais requisitos dependem de decisões tomadas antes da execução do projeto dos sistemas. Todos estes requisitos são colocados em documentos de controle: Itens Finais de Contrato (IFC), Documentos de Controle de Interfaces (DCI), Documentos de Requisitos de Dados (DRD), entre outros.



Fonte: Adaptado de Ryan *et al* (1996)

Figura 6 - Divisões de critérios de projetos

Deve-se atentar que tais requisitos devem ter uma margem de variação. Requisitos com pouca margem de variação restringem o número de soluções para o projeto. O projeto é o ato de balancear os requisitos em um produto. Conforme visto, há uma série de interfaces entre os sistemas e geralmente, um requisito de alto desempenho em um sistema afetará negativamente outro sistema. Por exemplo, de acordo com Andrade (2001), o problema para se encontrar a solução ótima para um navio possui três características básicas: a determinação de um grande número de variáveis para definir uma solução; a presença de múltiplos requisitos e restrições e, por último, é que tais requisitos geram objetivos conflitantes. Andrade (2001) cita um exemplo que ilustra bem esta última característica: “estabelecer um requisito de baixo consumo de combustível leva a um objetivo de minimizar a resistência ao avanço que, por sua vez, induz uma solução com forma de casco fina e longa normalmente associada a um maior peso estrutural (para a mesma capacidade de carga), indesejável do ponto de vista de um possível requisito de baixo custo inicial”. O entendimento dos requisitos e de suas sensibilidades é essencial à execução do projeto (BLAIR et al, 2001).

### **Processos coletivos em projetos de engenharia**

Conforme apontam Brézillon e Naveiro (2003) o projeto é uma atividade guiada pelo conhecimento na qual a descrição do produto corresponde a um conjunto de requisitos e restrições. Os autores afirmam que o processo de projeto envolve uma grande quantidade de conhecimento acumulado pelos engenheiros durante suas vidas profissionais. As fontes de conhecimento para as pessoas envolvidas no projeto têm diferentes origens como a educação formal, experiência individual e conhecimentos derivados de casos semelhantes. Tal fato é que fez Bucciarelli (1994) definir o mundo-objeto dos participantes de um projeto. Mundo-objeto designa o domínio do pensamento, ação e artefato com os quais os participantes do projeto vivem quando estão trabalhando em um aspecto específico, parte instrumental ou subfunção de um todo e que são mundos pessoais e que derivam do histórico da pessoa.

Para Bucciarelli (1994) o projeto é a interseção de diferentes mundos-objetos. Ninguém dita a forma do artefato. Portanto, de acordo com o autor, o projeto “é mais bem visto como um processo social de negociação e consenso, um consenso meio desengonçado expresso no produto final”. O processo é necessariamente social e requer que os participantes negociem suas diferenças e que construam significados por meio de trocas diretas e, preferencialmente, face-a-face. O mesmo autor coloca

que projetar é o processo de criar coerência em diversas perspectivas e interesses dos participantes, juntando tudo em um produto. Os participantes trabalham para juntar seus esforços em harmonia por meio de negociação. A harmonia ou falta dela será refletida no produto final.

Apesar da complexidade do mundo-objeto de cada participante do projeto, Brézillon e Naveiro apontam que tais participantes utilizam basicamente dois tipos de conhecimentos: o conhecimento processual e o conhecimento declarativo. O primeiro é geralmente expresso por procedimentos na vida organizacional da empresa enquanto que o segundo, por conhecimentos descritivos representados por equações e relações lógicas em livros e manuais. Conforme apontam Miles e Moore (1994) o conhecimento processual está relacionado em como uma pessoa realiza atividades e é geralmente adquirido pela experiência enquanto que o conhecimento declarativo é geralmente adquirido pela teoria.

Além do conhecimento processual e declarativo, há o contexto no qual está situado o projeto. Naveiro e Borges (2004) colocam que “o contexto é um tópico importante a ser levado em conta quando se investiga processos de tomada de decisão e processos de aprendizagem”. Os autores colocam que do ponto de vista de desenvolvimento de projeto de produtos, o contexto pode ser visto como uma coleção de condições relevantes relacionadas a uma vizinhança que torna única e compreensível a situação investigada. Uma pessoa realizando uma atividade identifica em seu repertório de conhecimentos qual é o relevante para a execução desta atividade. Naveiro e Borges (2004) colocam que essa porção de conhecimentos julgados importantes para uma determinada atividade é denominada de conhecimento contextual.

Toda tomada de decisão no projeto é dependente destes tipos de conhecimentos. Segundo Brézillon e Naveiro (2003) a reutilização de conhecimentos extraídos de projetos anteriores envolve a construção da interpretação do contexto daquele projeto em face à nova situação. Portanto, resultados passados ou parte deles podem ser de pronto uso e adaptados para a atividade presente.

Este é o objetivo de Sistemas Baseados no Conhecimento (Knowledge Based Systems – KBS). Tais sistemas são alimentados de conhecimentos de projetos realizados, explicando-se as razões de decisões tomadas em problemas particulares e que servirão de base para projetos futuros. Com tais sistemas é possível capturar

parte da experiência profissional de projeto de pessoas experientes e deixá-la disponível para outras menos experientes (MILES E MOORE, 1994).

### **2.3.2 Os processos de realização do projeto**

A consideração dos itens expostos anteriormente para a execução de um projeto necessita de vários processos. Um processo é uma série de ações que gera um resultado. O projeto do produto compreende os processos da gerência do projeto e os processos orientados ao produto.

Os processos orientados ao produto se relacionam com a especificação e a criação do produto do projeto. Tais processos são definidos pelo ciclo de vida do projeto e variam de acordo com a área de aplicação. Há diversas metodologias de execução dos processos orientados ao produto, tanto genéricas que se aplicam a quaisquer produtos como as específicas, mais detalhadas e restritas à área de aplicação.

Os processos da gerência de projetos se relacionam com a descrição, a organização e a conclusão do trabalho do projeto. Tais processos são aplicáveis à maioria dos projetos. Maurini (2005) aponta que a gestão de projetos teve um grande impulso a partir de 1990 e passou a ser reconhecida como um diferencial de concorrência por muitas empresas de ponta nas mais diversas áreas de atividades, sendo que não é mais possível conceber o funcionamento de um setor industrial cujo produto seja altamente complexo sem a utilização intensiva dos princípios, metodologias e técnicas dessa disciplina.

Existe uma interação e sobreposição entre os processos da gerência de projetos e os processos orientados ao produto durante todo o projeto. Por exemplo, os condicionantes (escopo) do projeto não podem ser definidos sem algum conhecimento básico de como o produto deve ser criado; a definição da seqüência de atividades necessita uma forte interação entre a equipe relacionada à criação do produto e a relacionada à gerência de projeto. Muitas vezes um membro da equipe acumula atividades de gerência e de dimensionamento. A figura 7 resume os processos do projeto e eles serão explicitados a seguir.

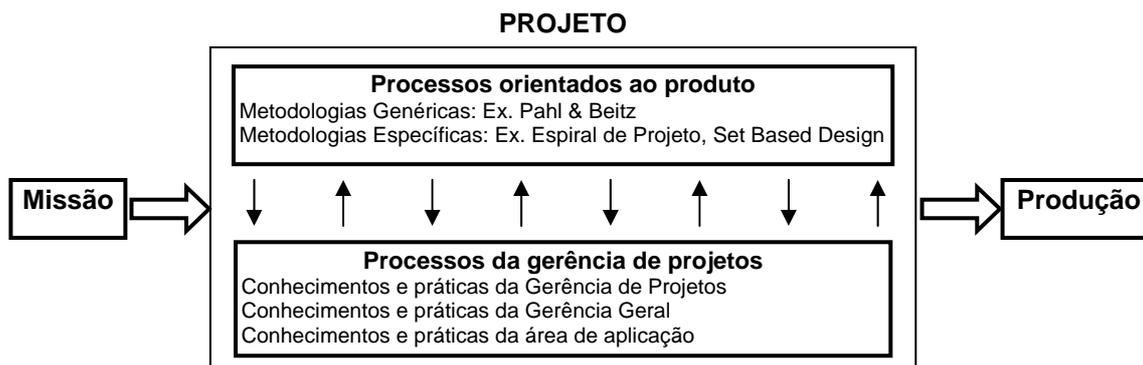


Figura 7 - O processo genérico de desenvolvimento do produto

Um ponto de fundamental importância é entender que os pontos característicos apontados anteriormente atingem não somente os processos orientados ao produto, eles estão presentes nos processos da gerência de projetos. A incerteza, a interatividade, a iteratividade e a complexidade de estabelecimento de necessidades e restrições atingem todos os processos de gerenciamento do projeto e estes interagem com os processos orientados ao produto.

## 2.4 Os Processos Orientados ao Produto

Conforme visto, o projeto é composto de processos e um processo é uma série ações que geram um resultado (PMBOK, 2000). Lamb (2004) coloca que a expressão processo de projeto é intercambiável com a expressão metodologia de projeto. De acordo com Naveiro (2001) metodologia é simultaneamente a seqüência de etapas que devem ser seguidas para atingir um determinado objetivo e a identificação e seleção dos métodos a serem seguidos em cada etapa.

Ryan *et al* (1996) colocam que não existe uma fórmula para o processo de projeto. De uma forma geral, cada organização deve desenvolver sua própria abordagem que é mais compatível com o produto final. Para desenvolver o processo, as empresas devem adaptar metodologias genéricas de projeto aos seus casos. Mistree *et al* (1990) e Lamb (2004) apresentam uma extensa revisão literária a respeito de metodologias de projeto, tanto genéricas quanto relacionadas ao projeto de navio.

### 2.4.1 Metodologia de Ulrich e Eppinger

Um exemplo de metodologia genérica é a apresentada por Ulrich e Eppinger (2004). Conforme mostrado anteriormente, além da fase de planejamento e de produção, os autores apresentam mais 4 fases do projeto: a fase de concepção do produto, a fase

de projeto em nível de sistemas, a fase de projeto de detalhamento, a fase de testes e refinamento (figura 6).

Na fase de concepção do produto, alternativas de concepções de produto são geradas e avaliadas e uma ou mais alternativas são escolhidas para um maior detalhamento posterior. A concepção do produto é uma descrição concisa de como o produto satisfará as necessidades do consumidor e é geralmente expresso por desenhos ou maquetes 3D simples com uma descrição textual. Dentre as alternativas, uma ou mais são escolhidas para um maior detalhamento e testes na próxima fase. Ulrich e Eppinger (2004, p.16) colocam que esta fase é a que demanda maior coordenação da equipe.

O projeto em nível de sistemas inclui a definição da arquitetura do produto e a sua decomposição em subsistemas e componentes. O esquema de montagem para o sistema de produção é normalmente definido nesta fase. O resultado desta fase inclui a geometria do produto, a especificação funcional de cada subsistema e um diagrama preliminar do processo de montagem.

A fase de detalhamento tem como objetivo a especificação completa da geometria, materiais e tolerâncias de todas as partes do produto. O resultado desta fase são desenhos de cada parte componente do produto, seu processo de fabricação e montagem com o intuito de ter subsídios para a confecção do protótipo.

A seguir, na fase de testes e refinamento, há a construção do protótipo que é testado para determinar se o produto funcionará de acordo com o projetado e se o produto satisfará as necessidades do consumidor. Nesta fase o protótipo não é necessariamente construído com os verdadeiros processos a serem usados na produção.

O quadro 4 mostra os setores de Marketing, Projeto e Manufatura e sua atuação durante as fases do projeto. Conforme aponta Naveiro (2001, p.54), a abordagem em três dimensões adotada pelos autores está em sintonia com as abordagens mais integradas derivadas da Engenharia Simultânea.

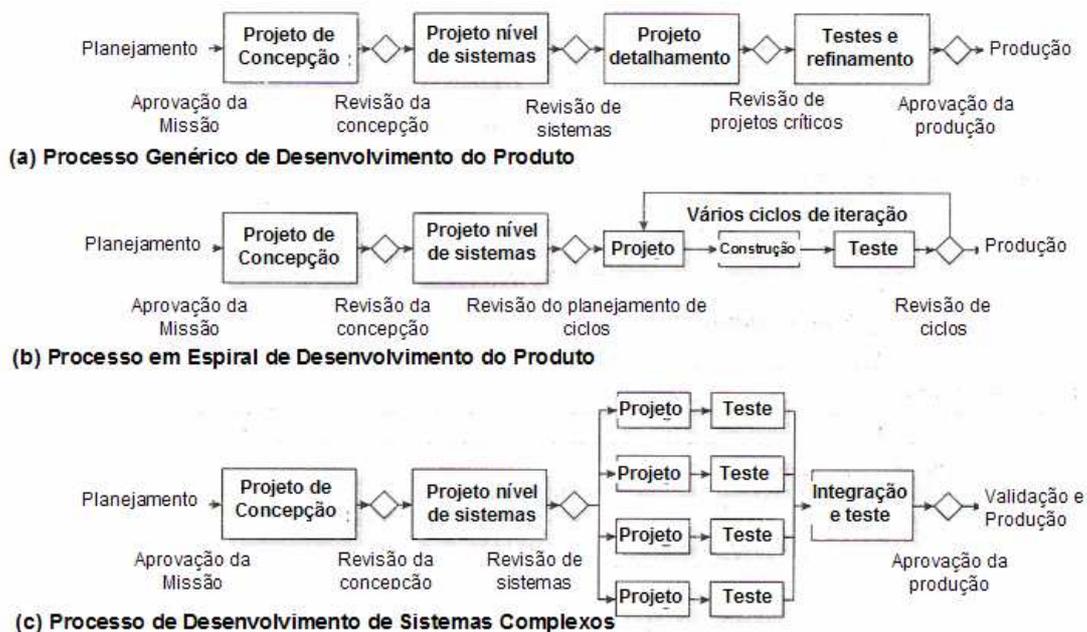
SETOR	Fase 1: Concepção do produto	Fase 2: Projeto em nível de sistemas	Fase 3: Projeto de detalhamento	Fase 4: Testes e refinamento
<b>Marketing</b>	- Coleta necessidades do consumidor - Identifica produtos -líder	- Desenvolve planejamento para opções de produto e família de produtos - Define preço alvo de venda	- Desenvolve plano de marketing	- Desenvolve promoção e lança materiais - Facilita teste de campo
<b>Projeto</b>	- Estudo de viabilidade de concepções do produto - Desenvolve concepções preliminares - Constrói e testa modelos	- Gera alternativas de arquitetura do produto - Define principais subsistemas e interfaces - Refina projeto industrial	- Define geometria das partes - Escolhe materiais - Estabelece tolerâncias - Completa a documentação de controle de projeto industrial	- Teste de confiabilidade - Teste de performance - Obtenção de aprovações regulamentares - Implementação de mudanças de projeto
<b>Manufatura</b>	- Estima o custo de produção - Aborda a viabilidade de produção	- Identifica os fornecedores para componentes - Realiza a análise de fazer-comprar - Define esquema final de montagem - Ajusta custo alvo	- Define processos de produção de partes do sistema - Projeto de ferramentas - Define processos de garantia da qualidade	- Refina o processo de fabricação e montagem - Treina mão-de-obra - Refina processos de garantia de qualidade
<b>Outras funções</b>	- Finanças: facilita a análise econômica - Jurídico: Investiga matéria de patentes	- Finanças: facilita análise de fazer-comprar - Serviços: identifica matérias de serviços		- Vendas: desenvolve plano de vendas

Fonte: Adaptado de Ulrich e Eppinger (2004)

Quadro 4 - Fases do Projeto.

Conforme apontam os autores, o projeto geralmente segue um fluxo estruturado de atividades e informações, o que permite desenhar diagramas do processo conforme ilustrado na figura 8. Cada fase do desenvolvimento do produto é marcada pela revisão (iteração) para confirmar que aquela fase está completa e para determinar se o projeto está de acordo com o estipulado nos condicionantes. Os autores apresentam três diagramas de desenvolvimento: o processo genérico, o processo em espiral e o processo para sistemas complexos. O processo genérico mostra uma seqüência de fases sendo que ao final de cada uma há uma revisão. Este modelo é o geralmente apresentado em outras metodologias. O processo em espiral é usado para desenvolver produtos fáceis de construir, permitindo a repetição de projeto de detalhamento, construção e testes um certo número de vezes. O processo de desenvolvimento de sistemas complexos mostra a decomposição em estágios paralelos de trabalho em vários subsistemas e componentes. Uma vez estabelecido o

processo de desenvolvimento do produto dentro de uma organização, ele é utilizado para explicar o processo aos membros da equipe.



Fonte: Adaptado de Ulrich e Eppinger (2004)

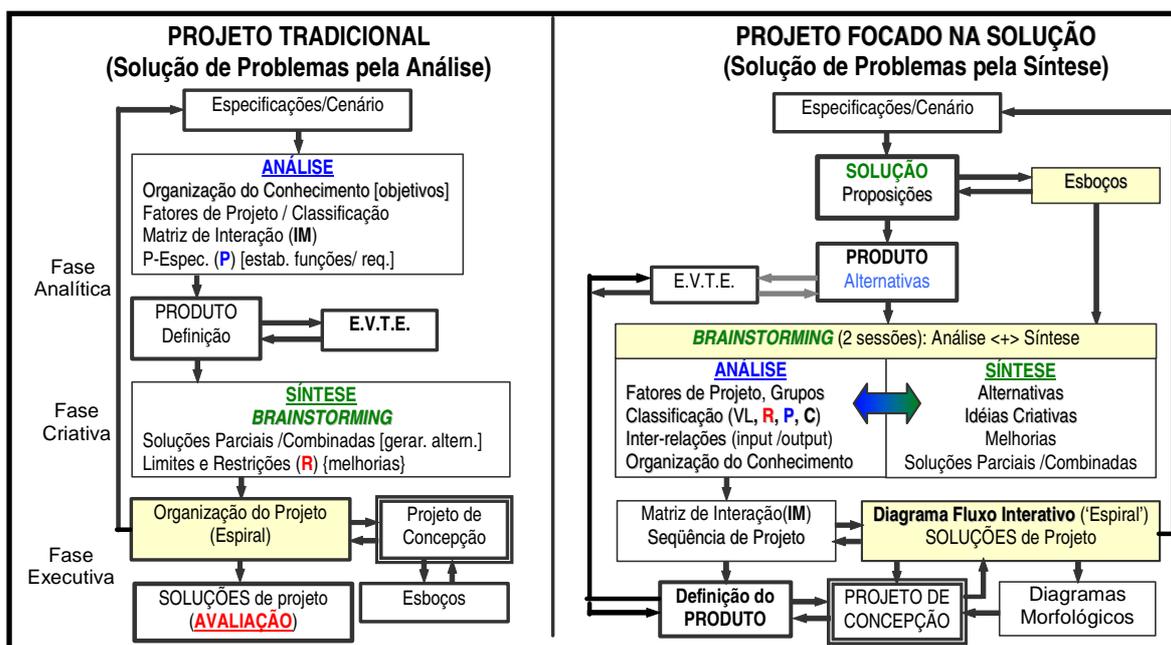
Figura 8 - Diagrama de fluxo de processo para três processos de desenvolvimento do produto

## 2.4.2 Metodologia de Projeto Focada na Solução

Uma visão mais aprofundada de uma metodologia de projeto de concepção pode ser obtida de Schachter *et al* (2005). Segundo os autores, a Metodologia de Projeto Focada na Solução adota uma combinação de procedimentos representados por Jones (1984) e Cross (1991), trazendo o processo criativo na fase de definição do produto. A figura 9 ilustra a metodologia comparada com metodologias tradicionais.

Segundo os autores, a metodologia tem por base as três fases de desenvolvimento do projeto proposto no modelo prescritivo de Jones (1984): a análise, a síntese e a avaliação. A análise consiste na listagem de todos os requisitos de projeto e a redução destes em um conjunto completo de especificações de desempenho relacionado logicamente. A síntese consiste em encontrar possíveis soluções para cada especificação individual de desempenho e desenvolver projetos que atendam tais especificações. Por fim, a avaliação consiste em verificar a precisão com que os projetos alternativos preenchem as especificações de desempenho para operação, manufatura e vendas, antes que o projeto final seja selecionado.

A filosofia da metodologia é tentar estimular a criatividade das pessoas envolvidas no projeto. Para isto, as atividades de análise e síntese são conduzidas em conjunto, após todos os participantes tiverem pensado e esboçado suas idéias iniciais. Isto é feito para permitir que as proposições de soluções com foco na funcionalidade global ocorram primeiro, ao contrário do método tradicional, no qual as soluções são encontradas no fim do processo.



E.V.T.E.: Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica

Fonte: Adaptado de Schachter *et al* (2005)

Figura 9 - Comparação entre metodologias de projetos.

Após o esboço apresentado pelos projetistas, são feitas sessões de *brainstorming* nas quais são apresentadas listas de fatores de projetos. A análise e síntese são feitas concomitantemente. Os fatores de projetos são atividades de projeto de natureza específica, como disciplinas ou tomada de decisões importantes baseadas em critérios, das quais os valores calculados ou decisões tomadas podem alterar o rumo do projeto. Há dois tipos de fatores de projeto: as variáveis livres (VL) e as variáveis dependentes. As variáveis dependentes dividem-se em Fatores de Performance (P), Fatores Restritivos (R) e Configurações (C).

Variáveis Livres são aquelas que contêm entrada ou valor inicial modificável. Como exemplo os autores citam o estado de mar para projeto de um navio que é estipulado

e que o navio deve operar sem prejuízo de suas funções. As demais variáveis são dependentes. Os Fatores de Performance são aqueles nos quais seus parâmetros devem ser minimizados ou otimizados, por exemplo, custo. Os Fatores Restritivos são aqueles de natureza restritiva, cujos parâmetros devem ser acima ou abaixo de determinados limites, como estabilidade, comportamento no mar, etc. Por fim, Configurações são os fatores que dependem de um julgamento humano, por exemplo, o arranjo geral do navio.

Após a classificação dos fatores de projeto são estudadas as inter-relações entre os mesmos, destacando as interações e iterações de projeto, utilizando a Matriz de Interação de Jones, que é semelhante à *Design Structure Matrix*, com a diferença que não utiliza algoritmos de particionamento e agrupamento. A função desta matriz é apenas representativa das iterações e interações de parâmetros do projeto. Por fim, são criados diagramas interativos para a representação do fluxo do projeto (figura 4, p.20) nos quais cada bloco representa um fator de projeto.

Esta metodologia é uma nova metodologia de projeto derivada de metodologias genéricas que representam os processos orientados ao produto. Estas metodologias incorporam pouco ou nenhum processo de gerência, que interage com os processos orientados ao produto.

## **2.5 Os Processos da Gerência de Projetos**

Segundo o PMBOK (2000, p.6), Gerência de Projetos é a aplicação de conhecimentos, habilidades e técnicas para projetar atividades que visem atingir os requisitos do projeto. Maurini (2005, p.39) sintetiza a Gestão de Projetos como a aplicação de um corpo de conhecimentos específicos à administração de um projeto com os objetivos de fazê-lo acontecer e garantir o desenvolvimento do produto do projeto dentro das especificações e das condições de contorno estabelecidas. Slack *et al* (2002, p.541) define gerenciamento de projeto como o processo de administrar as atividades dentro do projeto, planejando o trabalho, executando-o e coordenando a contribuição da equipe e organizações que possuem interesse no projeto.

O corpo de conhecimentos da gestão de projetos na verdade engloba conhecimentos da administração geral e da própria área de aplicação (PMBOK). Os conhecimentos relacionados à administração geral são aqueles comuns a diversas empresas, tais como planejamento financeiro e técnicas de planejamento. Com relação à área de aplicação, são os conhecimentos específicos à área, que foram desenvolvidos ao

longo dos anos ou que têm aplicação somente naquela área. Este corpo de conhecimentos deve ser adaptado para cada empresa de forma a modelar a sua própria metodologia de gestão. Assim como não há uma fórmula para metodologia dos processos orientados ao produto, não há uma fórmula para metodologia de gestão de projeto.

Maurini (2005, p.41) define metodologia de gestão de projeto como uma coletânea de procedimentos, critérios, regras e padrões, coerente com o método de elaboração progressiva, que ordena e dá sentido de aplicação ao corpo de conhecimentos que constitui a Gestão de Projetos.

A gestão de projetos tem tido grande desenvolvimento desde 1990 e está sendo aplicada em várias indústrias. O gerenciamento do projeto de acordo com o apresentado no PMBOK (2000) está começando a ser empregado na Engenharia Naval conforme explicita Cueva *et al* (2004) já mencionado anteriormente.

Apesar de haver várias publicações versando sobre a gestão de projetos e apresentando algumas metodologias como o APMBOK da *Association for Project Management* e o PRINCE, do *Office of Government Commerce do Reino Unido*, serão utilizados os princípios do PMBOK do *Project Management Institute*, pois darão subsídios suficientes para o escopo desta dissertação.

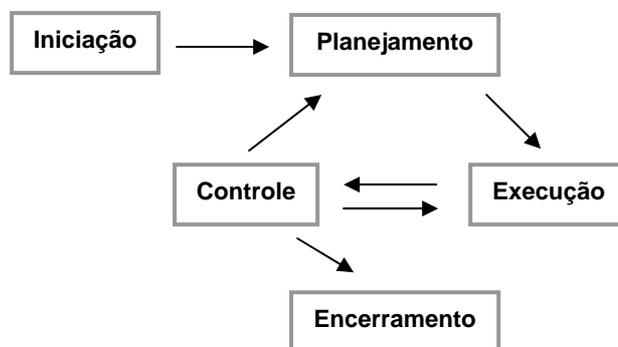
### **2.5.1 Grupos de processos**

O PMBOK aponta que o Gerenciamento do Projeto é executado por meio do uso de grupos de processos de iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento.

- 1) Iniciação: autorizar o início do projeto ou fase;
- 2) Planejamento: definir e refinar os objetivos e selecionar a melhor das alternativas de ação para alcançar os objetivos que o projeto estiver comprometido em atender;
- 3) Execução: coordenar pessoas e outros recursos para realizar o plano;
- 4) Controle: assegurar que os objetivos do projeto estão sendo atingidos, através da monitoração regular do seu progresso para identificar variações do plano e de ações corretivas que devem ser tomadas quando necessárias; e
- 5) Encerramento: formalizar a aceitação do projeto ou fase e encerrá-lo de forma organizada.

Estes grupos de processos interagem durante todo o desenvolvimento do projeto (figura 10). O conjunto inter-relacionado destes processos é executado inúmeras

vezes tanto para as atividades relacionadas com os processos relacionados ao produto quanto àquelas relacionadas com a gerência do projeto e em diversos níveis. Por exemplo, olhando em um nível de atividade, a execução da atividade de dimensionamento da estrutura necessita dos grupos de processos de iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento. Já em termos de gerência e em um nível do projeto como um todo, também estão presentes todos os grupos de processos mencionados. No entanto, estes conjuntos abrangerão um número maior de atividades de acordo com o nível de enfoque. O planejamento do dimensionamento de uma estrutura envolve um número menor de atividades quando comparadas para o planejamento de projeto de um produto.



Fonte: PMBOK (2000)

Figura 10 - Relacionamento entre os grupos de processos em cada fase

Outro ponto a ser observado é o número de pessoas e disciplinas envolvidas no conjunto destes processos. Para o dimensionamento inicial de um componente muitas vezes são envolvidas no máximo duas pessoas, sendo uma delas o próprio projetista e a outra o supervisor da área. Estes dois integrantes da equipe executarão todas as atividades de iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento. No entanto, para o processo de gestão do projeto, muitas pessoas e áreas estarão envolvidas com os grupos de processos mencionados. Por exemplo, o planejamento do projeto de um novo produto envolverá várias pessoas de áreas diversas.

Uma outra abordagem semelhante ao PMBOK é dada por Slack *et al* (2002, p.516). Os autores propõem um modelo de gerenciamento de projeto que categoriza as atividades de gerenciamento em 5 estágios: Compreensão do ambiente do projeto, definição do projeto, planejamento do projeto, execução técnica e controle do projeto.

- 1) Compreensão do ambiente de projeto: visa a identificar todos os fatores que podem influenciar o projeto durante o seu ciclo de vida.

- 2) Definição do projeto: consiste no estabelecimento de objetivos, do escopo e da estratégia para o desenvolvimento do projeto.
- 3) Planejamento do projeto: consiste em decidir de como o projeto será executado.
- 4) Execução técnica: desenvolvimento técnico do projeto.
- 5) Controle do projeto: é a garantia que o projeto está sendo executado conforme o planejado.

O modelo apresentado pelos autores é semelhante ao PMBOK. A diferença é que o PMBOK considera a compreensão do ambiente de trabalho e a definição do projeto dentro dos processos de planejamento. Os três processos essenciais à administração - planejamento, execução e controle - estão dentro das fases apresentadas em ambas metodologias.

Os processos mencionados estão relacionados com a área de conhecimento da administração em geral e apresentam uma visão macroscópica dos processos. O PMBOK apresenta uma metodologia mais aprofundada para a Gerência de Projeto, dividindo e organizando os processos em nove áreas necessárias.

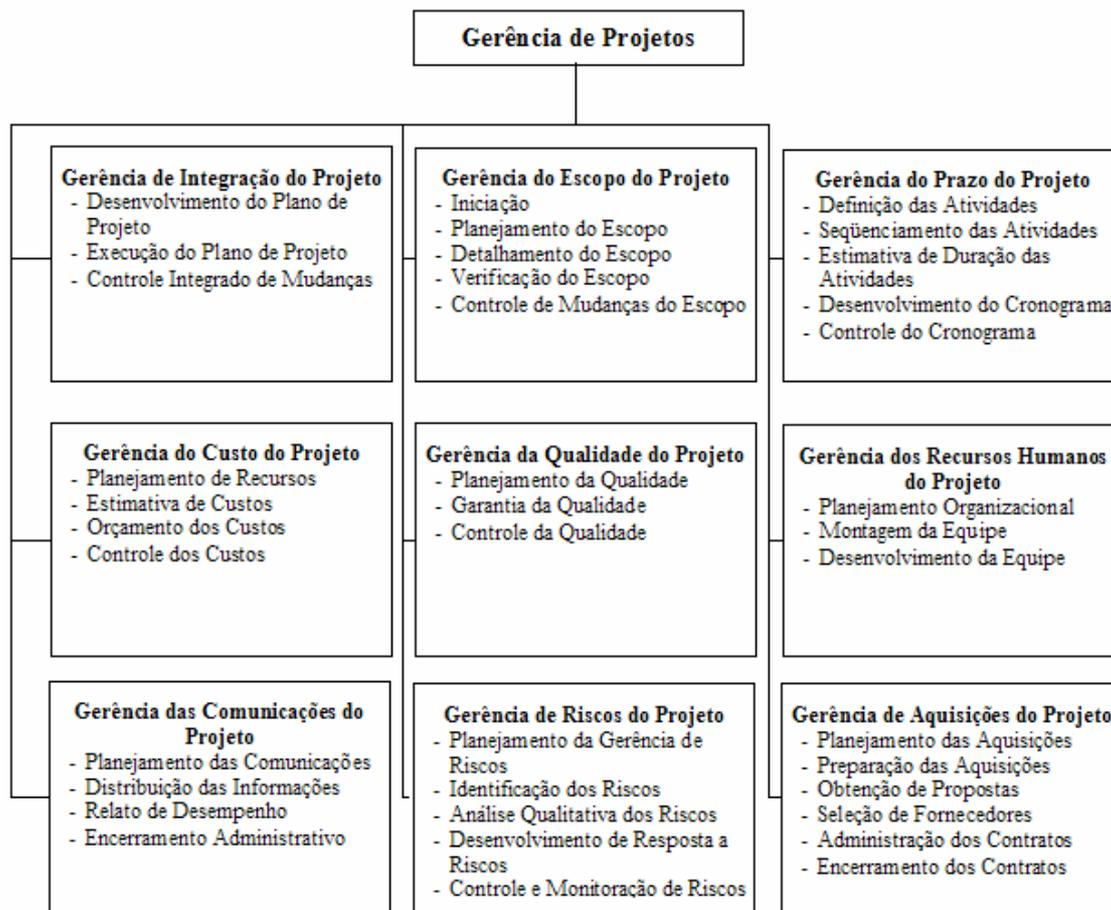
### **2.5.2 Gerências de projeto**

O PMBOK aponta nove gerências necessárias para o gerenciamento do projeto: integração, escopo, prazo, custo, qualidade, comunicações, recursos humanos, aquisições e riscos. Estas gerências são responsáveis pelo planejamento, execução, controle e encerramento dentro de suas respectivas áreas, além de terem que agir de forma integrada para o desenvolvimento do produto.

Assim como nos processos orientados ao produto, é importante notar que muitos processos dentro da gerência de projetos são naturalmente iterativos e um esforço iterativo – uma ação, ou a falta de ação em uma área geralmente afeta outras áreas. Conforme visto anteriormente, isto é em parte devido à existência e a necessidade da elaboração progressiva do projeto durante o seu ciclo de vida e devido às interações envolvidas no processo que necessitam de uma abordagem repetitiva.

A figura 11 mostra essas nove gerências e suas principais atribuições. A seguir, os quadros 5, 6, 7 e 8 apresentam uma breve descrição dos processos relacionados a cada gerência. Por fim, apresenta-se uma síntese das atribuições de cada gerência. Extraíram-se as explicações e definições a seguir do PMBOK e visam somente dar uma noção de cada gerência e da complexidade da gestão do projeto. Dentro de cada

área, quando necessário a esta dissertação, colocaram-se observações de outros autores. O aprofundamento de cada uma destas gerências pode ser obtido no PMBOK e em publicações específicas na área de atuação.



Fonte: PMBOK (2000)

Figura 11 - Visão geral das áreas de conhecimento e dos processos da gerência de Projetos

O quadro 5 apresenta um mapeamento da gerência de projetos, abordando as diversas gerências e os grupos de processos. Importante notar que cada processo possui uma entrada, as ferramentas e técnicas para a execução do processo e as saídas. Há uma interação entre as entradas e saídas dos diversos processos, ou seja, o dado de entrada de um processo é a saída de um ou mais processos.

<b>Grupos de Processos</b>	<b>Iniciação</b>	<b>Planejamento</b>	<b>Execução</b>	<b>Controle</b>	<b>Encerramento</b>
<b>Áreas de Conhecimento</b>					
4. Gerência de Integração do Projeto		4.1 Desenvolvimento do Plano do Projeto	4.2 Execução do Plano do Projeto	Controle Integrado de Mudanças	
5. Gerência de Escopo do Projeto	5.1 Iniciação	5.2 Planejamento do Escopo 5.3 Detalhamento do Escopo		5.4 Verificação do Escopo 5.5 Controle de Mudança de Escopo	
6. Gerência de Tempo do Projeto		6.1 Definição das Atividades 6.2 Sequenciamento das Atividades 6.3 Estimativa da Duração das Atividades 6.4 Desenvolvimento do Cronograma		6.5 Controle do Cronograma	
7. Gerência de Custo do Projeto		7.1 Planejamento dos Recursos 7.2 Estimativa dos Custos 7.2 Orçamento dos Custos		7.4 Controle de Custo	
8. Gerência da Qualidade do Projeto		8.1 Planejamento da Qualidade	8.2 Garantia da Qualidade	8.3 Controle da Qualidade	
9. Gerência de Recursos Humanos do Projeto		9.1 Planejamento Organizacional 9.2 Montagem da Equipe	9.3 Desenvolvimento da Equipe		
10. Gerência de Comunicação do Projeto		10.1 Planejamento das Comunicações	10.2 Distribuição das Informações	10.3 Relato de Desempenho	10.4 Encerramento Administrativo
11. Gerência de Risco do Projeto		11.1 Planejamento da Gerência de Risco 11.2 Identificação dos Riscos 11.3 Análise Qualitativa dos Riscos 11.4 Análise quantitativa dos Riscos 11.5 Planejamento de Respostas a Riscos		11.6 Controle e Monitoração dos Riscos	
12. Gerência de Aquisição do Projeto		12.1 Planejamento das Aquisições 12.2 Preparação das Aquisições	12.3 Pedido de propostas 12.4 Seleção de Fornecedores 12.5 Administração dos Contratos		12.6 Encerramento dos Contratos

Fonte: PMBOK (2000)

Quadro 5 – Gerências do projeto e processos relacionados

PROCESSO	OBJETIVO
Processos de iniciação da gerência de escopo	Elaborar um documento que autoriza formalmente o projeto, incluindo as necessidades do negócio que o projeto está incumbido de tratar, a descrição do produto. Este documento é chamado de Project Charter. Além disto designará o gerente do projeto.
Planejamento de escopo	Desenvolver uma declaração escrita do escopo, como base para futuras decisões no projeto.
Detalhamento do escopo	Subdividir os principais subprodutos do projeto em componentes menores e mais manuseáveis.
Definição das atividades	Identificar as atividades específicas que devem ser realizadas para produzir os diversos subprodutos do projeto.
Seqüenciamento das atividades	Identificar e documentar as dependências entre as atividades
Estimativa de duração das atividades	Estimar o número de períodos de trabalho que serão necessários para completar as atividades individuais.
Desenvolvimento do cronograma	Criar o cronograma de projeto a partir da análise de seqüência de atividades, suas durações e necessidades de recursos.
Planejamento dos recursos	Determinar que recursos (pessoas, equipamentos, materiais, etc.) devem ser utilizados, e em que quantidades para a realização das atividades de projeto.
Estimativa de custos	Desenvolver uma aproximação dos custos dos recursos que serão necessários para completar as atividades do projeto.
Orçamento dos custos	Alocar a estimativa dos custos globais aos pacotes individuais de trabalho.
Planejamento organizacional	Identificar, documentar, e atribuir papéis e responsabilidades hierárquicas.
Montagem da equipe	Conseguir que os recursos humanos necessários sejam designados e alocados ao projeto.
Planejamento das comunicações	Determinar as necessidades das partes envolvidas quanto à informação e comunicação, isto é, quem necessita de qual informação, quando necessita e como esta informação será fornecida.
Desenvolvimento do plano de projeto	Agregar os resultados dos outros processos de planejamento construindo um documento coerente e consistente.
Planejamento da Gerência de Risco	Decidir como abordar e planejar a gerência de risco no projeto.
Planejamento da qualidade	Identificar os padrões de qualidade relevantes para o projeto e determinar como satisfazê-los.
Identificação dos riscos	Determinar os riscos prováveis do projeto e documentar as características de cada um.
Análise qualitativa dos riscos	Analisar qualitativamente os riscos e condições para priorizar seus efeitos nos objetivos do projeto.
Análise quantitativa dos riscos	Mensurar a probabilidade e impacto dos riscos e estimar suas implicações nos objetivos do projeto.
Planejamento de resposta a riscos	Desenvolver procedimentos e técnicas para aumentar as oportunidades e para reduzir ameaças de riscos para os objetivos do projeto.

Fonte: PMBOK

Quadro 6 – Descrição dos principais processos de iniciação e planejamento do gerenciamento do projeto

PROCESSO	OBJETIVO
Execução do Plano de Projeto	Levar a cabo o plano de projeto através da realização das atividades nele incluídas.
Garantia da Qualidade	Avaliar regularmente o desempenho geral do projeto, com o objetivo de prover confiança de que o projeto irá satisfazer os padrões estabelecidos de qualidade.
Desenvolvimento da equipe	Desenvolver habilidades das pessoas e da equipe, enquanto grupo, para melhorar o desempenho do projeto.
Distribuição das informações	Disponibilizar as informações necessárias, e no momento adequado, às partes envolvidas.
Pedido de propostas	Obter, conforme apropriado a cada caso (cotações de preço, cartas-convite, licitações, concorrências), as propostas de fornecimento dos produtos e/ou serviços pretendidos.
Seleção de fornecedores	Escolher entre os possíveis fornecedores.
Administração de contratos	Gerenciar o relacionamento com os fornecedores.

Fonte: PMBOK

Quadro 7 – Descrição dos principais processos de execução do gerenciamento do projeto

PROCESSO	OBJETIVO
Controle Integrado de Mudanças	Coordenar as mudanças através de todo o projeto.
Verificação do escopo	Aceitar formalmente os resultados (escopo) do projeto.
Controle de mudanças do escopo	Controlar as mudanças de escopo do projeto.
Controle de cronograma	Controlar as mudanças de cronograma do projeto.
Controle de custos	Controlar as mudanças de orçamento do projeto.
Controle da Qualidade	Monitorar resultados específicos do projeto para determinar se eles atingem padrões adequados de qualidade, e identificar ações para eliminar as causas de desempenhos insatisfatórios.
Relato de desempenho	Coletar e divulgar informações de desempenho. Isto inclui relatórios de status, medidas de progresso, e novas estimativas do projeto.
Controle e monitoração de riscos	Acompanhar os riscos identificados, monitorar os riscos residuais e identificar novos riscos, garantindo a execução dos planos de riscos e avaliar sua efetividade em reduzir riscos.

Fonte: PMBOK

Quadro 8 – Descrição dos principais processos de controle do projeto

### **Gerência de Integração**

A gerência da integração do projeto inclui os processos requeridos para assegurar que os diversos elementos do projeto estão adequadamente coordenados. Um objetivo desta gerência é fazer compensações entre objetivos e alternativas eventualmente concorrentes a fim de atingir ou superar necessidades e expectativas.

### **Gerência de Escopo**

A gerência de escopo visa definir e controlar as necessidades e restrições (condicionantes) com o intuito de se complementar o trabalho com sucesso.

### **Gerência do Prazo**

A função desta gerência é assegurar que o projeto será realizado dentro do prazo previsto. Esta gerência tem por um de seus objetivos o mapeamento de interações de atividades do projeto, que está incluído no processo de seqüenciamento de atividades.

O PMBOK (2000, p.70) apresenta 4 métodos que auxiliam o mapeamento das interações e definição da seqüência de realização de atividades: método de diagrama de precedência (PDM), método de diagrama de flecha (ADM), método de diagrama condicional (CDM) e modelos de rede. Esses métodos são usados nas seguintes ferramentas apresentadas por Guivarch (2003, p.27): o PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) e CPM (*Critical Path Method*), IDEF3 (*Integration Definition For Function Modeling*) e gráficos de GANTT.

Estas ferramentas para mapeamento do processo e definição de seqüência de realização de atividades têm sido alvo de críticas devido a um dos seguintes fatores: não representarem as iterações do projeto ou serem baseadas em diagramas que dificulta a representação e análise de sistemas complexos (Ex.: Guivarch, 2003; Peralta, 2002, p.64; Cho e Eppinger, 2005; Smith e Eppinger, 1997). A ferramenta que tem sido utilizada para este caso é a DSM e que será apresentada posteriormente.

A estimativa de duração das atividades normalmente é feita por avaliação especializada baseada em dados históricos ou por analogia a projetos anteriores. Ressalta-se que a estimativa da duração das atividades deve levar em conta os processos iterativos. Conforme salienta Guivarch (2003, p.20), a iteratividade ainda não é totalmente entendida por gerente de projetos. O autor aponta que muitas companhias ainda fazem planejamento de duração de atividades assumindo que o projeto seguirá uma trajetória linear, sem iterações e que resulta em atrasos de meses no projeto.

### **Gerência de Custo**

O gerenciamento de custo do projeto visa assegurar que o projeto será concluído dentro o orçamento estimado. Para o escopo desta dissertação é necessário entender

que as outras atividades de planejamento interagem com a gerência de custo e não se detalhará os processos relacionados ao gerenciamento do custo de execução do projeto.

### **Gerência de Qualidade**

Segundo Slack *et al* (2002, p.551) qualidade é a consistente conformidade com as expectativas dos consumidores. O gerenciamento da qualidade inclui os processos necessários para garantir que o produto final esteja de acordo com as especificações de projeto. Mas conforme aponta Slack *et al* (2002, p.71), satisfazer os clientes internos pode ser tão importante quanto satisfazer aos consumidores externos. Por isso, também inclui o próprio gerenciamento do projeto que lida com a estabilidade e eficiência do projeto.

### **Gerência de Recursos Humanos**

O gerenciamento dos recursos humanos inclui os processos necessários para tornar efetivo o uso dos recursos humanos em um projeto. Conforme aponta o PMBOK, o planejamento organizacional necessita como entrada o mapeamento das interações e interfaces de projeto. Além disso, é necessário o conhecimento do perfil necessário do recurso humano para a execução da atividade. O estudo deste conjunto de entradas definirá a atribuição de atividades e responsabilidades dos recursos humanos dentro de um projeto e um plano de gerenciamento de pessoal.

### **Gerência de Comunicações**

A gerência de comunicações visa garantir e regular a geração, disseminação e armazenamento de informações. O planejamento das comunicações deve mapear as interações da organização e definir quem, quando, como e para quem deve passar informações de projeto. Os integrantes do projeto deve estar preparados para saber como suas informações afetam o projeto como um todo.

### **Gerência de Riscos**

Ulrich e Eppinger (2004, p.341) colocam que o projeto raramente evolui de acordo com o planejado. Alguns destes desvios de planejamento podem ter um impacto pequeno no projeto como um todo, ou ter impactos grandes, causando grandes atrasos, queda de performance do produto entre outros. A identificação adiantada do que pode dar errado no projeto são as áreas de risco do projeto. O PMBOK aponta que a Gerência

de Riscos é responsável por maximizar a probabilidade de ocorrência de eventos positivos e minimizar a probabilidades de ocorrência e conseqüências de eventos adversos aos objetivos do projeto.

### **Gerência de Aquisições**

A gerência de aquisições visa à obtenção de bens e serviços externos à organização executora do projeto, planejando e preparando as aquisições, obtendo propostas, selecionando fornecedores e administrando contratos.

## **2.6 A Engenharia Simultânea**

A Engenharia Simultânea pode ser definida como a forma sistemática de projeto de produtos e processos, com equipes multidisciplinares, que atuam de forma paralela no desenvolvimento do produto e preocupam-se com todos os elementos do ciclo de vida do mesmo, visando à satisfação do cliente e ao aumento da produtividade e que conta com o suporte de tecnologias computacionais. Slack (2002) coloca não há uma definição universalmente aceita para o termo Engenharia Simultânea e é o que denominamos desenvolvimento simultâneo em operações de manufatura.

O conceito de Engenharia Simultânea foi inicialmente proposto como uma maneira potencial de minimizar o tempo de desenvolvimento do produto. Desde então, várias interpretações de Engenharia Simultânea têm surgido na literatura. Atualmente o significado é mais abrangente englobando vários produtos de Gestão para o Ciclo de Vida (Product Life-Cycle Management - PLM) além de informações da engenharia, da economia, da manufatura e das empresas.

### **2.6.1 Premissas da Engenharia Simultânea**

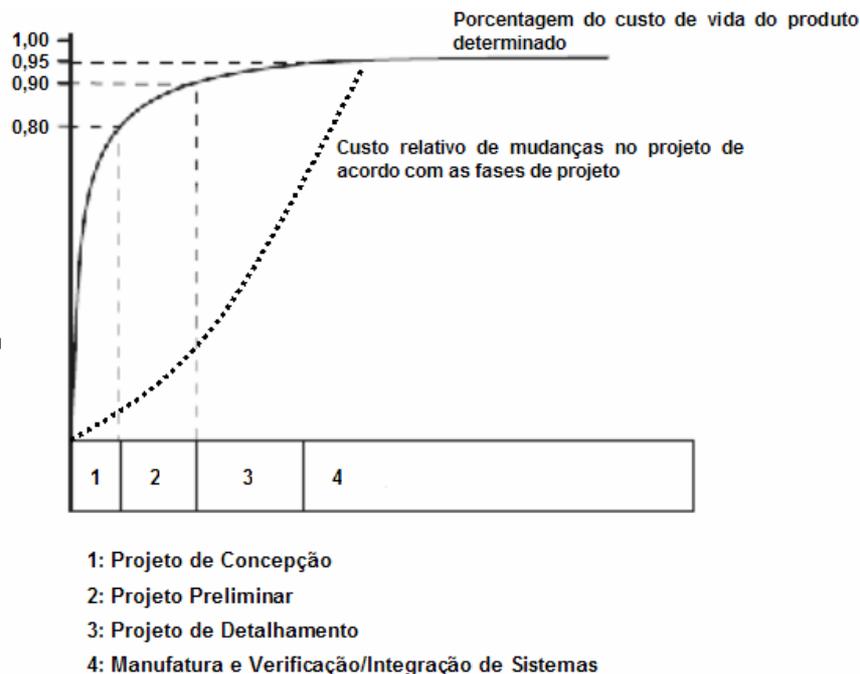
De acordo com Zangwill (1992), a Engenharia Simultânea empenha-se em fazer o trabalho necessário certo na primeira vez. Combinando-se alguns pontos do projeto apontados por Zangwill (1992), Kusiak (1994) e Belson (1994), verifica-se que a Engenharia Simultânea é baseada em três pilares:

- 1) As mudanças no projeto tornam-se exponencialmente mais caras à medida que são executadas em fases mais avançadas do projeto;
- 2) A fase de concepção do projeto determina aproximadamente 80% do custo de vida do produto;
- 3) Executando-se atividades de projeto paralelamente acelera o projeto.

O primeiro ponto é que as mudanças de projeto tornam-se exponencialmente mais caras à medida que são executadas em fases mais avançadas de projeto. Zangwill (1992) exemplifica que a IBM determinou que uma mudança durante a fase de testes custa 13 vezes mais do que uma mudança em fases iniciais de projeto. Conforme aponta Naveiro (2001, p.31), quanto maior o número de modificações e quanto mais tarde tais modificações forem efetuadas, maior será o atraso no lançamento do produto, sendo que as modificações tardias, feitas após o início da produção, provocam um aumento absurdo no custo da produção.

O segundo ponto é que a fase de concepção do projeto determina aproximadamente de 60% a 80% do custo de vida do produto. Conforme exemplifica Laverghetta (1998, p.21), o resultado de um projeto de concepção de um navio pode indicar como produto final um contratorpedeiro de aproximadamente 130 metros, 6800 toneladas, com velocidade de 30 nós usando 4 máquinas tipo LM-2500, e uma tripulação de 350 pessoas, além de ter definido o seu sistema de armas e radares. Apesar desta descrição não ser suficiente para produzir o navio, ela por si só define aproximadamente 80% do custo de aquisição do mesmo. Blair *et al* (2001, p.149) ampliam este dado de custo de aquisição para o custo de ciclo de vida do produto, afirmando que o projeto de concepção define aproximadamente 80% dos custos de um veículo lançador de satélite no seu ciclo de vida. Resumindo, de uma maneira genérica, Zangwill (1992) define que 60% do custo do ciclo de vida de um produto é definido durante o projeto de concepção.

A figura 12 apresenta estes dois pontos mencionados. O primeiro é o custo relativo de mudanças no projeto à medida que avança as fases do projeto. Para este caso o eixo vertical significa o custo da mudança em termos relativos à fase do projeto e tem por objetivo apenas elucidar que durante a fase de concepção os custos são bem menores que durante a fase de manufatura. O segundo ponto tem como escala do eixo vertical a porcentagem do custo de vida do produto determinado. Nota-se que 80% do custo está concentrado na fase de concepção.



Fonte: Adaptado de Blair *et al* (2001, p.150) e Belson (1994)

Figura 12 - Porcentagem do custo de vida de um produto determinado durante as fases de projeto e o custo relativo para mudanças de projeto

O terceiro ponto é a execução de atividades paralelamente para acelerar o projeto. Apesar de parecer óbvio, o projeto era executado com uma certa seqüência de atividades sem se preocupar se poderia ou não realizá-las de forma paralela. Tal sistemática é chamada de Engenharia Seqüencial ou Linear. Para executar as atividades paralelamente deve-se conhecer o tipo de relacionamento de atividades e as interações do processo. Nem sempre para executar determinada atividade depende-se de informações de outra atividade. Quando não há esta dependência, as duas atividades podem ser executadas paralelamente, encurtando-se o tempo de desenvolvimento do projeto. Além disso, quando uma atividade depende de informações de outra, pode-se executar estas atividades com um certo grau de paralelismo, fazendo-se com que a atividade que é executada primeiro libere informações parciais de seus resultados para a execução da atividade que é executada por último.

### 2.6.2 Características da Engenharia Simultânea

As características da utilização da Engenharia Simultânea são conseqüências das premissas apresentadas anteriormente. Ora, se os custos de mudança no projeto são baixos em fases iniciais de projeto e esta fase determina 80% do custo do de vida do

produto, nada é mais plausível do que se considerar o máximo de alternativas durante esta fase considerando o ciclo de vida do produto. Para isso, formam-se equipes multidisciplinares que atuam no projeto. Devido à participação de várias equipes utilizam-se os termos DIP (Desenvolvimento Integrado do Produto) ou, em inglês IPD (*Integrated Product Development*) que são considerados sinônimos de Engenharia Simultânea.

As equipes multidisciplinares constituem-se de especialistas de diversas áreas, como produção, manutenção, entre outras e a participação do cliente no projeto. Estes especialistas vislumbram problemas ou dificuldades que podem ser encontradas futuramente e tentam resolvê-las na etapa inicial de projeto. Por exemplo, a curvatura dupla de chapa para o casco do navio é mais difícil e custosa de executar do que uma curvatura simples. Neste caso, tenta-se mudar as linhas do casco ou o posicionamento das costuras de forma que a chapa fique apenas com uma curvatura simples. Esse foco na manufatura, na operação, na montagem do produto, entre outros, fez surgir os termos *Design for Manufacturing (DFM)*, *Design for Operationally (DFO)*, *Design for Assembly (DFA)*, genericamente denominados DFX onde X representa o foco do projeto.

No entanto, a utilização de equipes multidisciplinares aumenta o número de necessidades e restrições no projeto e aumenta o nível de interações. Antes o projeto não considerava, ou considerava parcialmente, as necessidades construtivas, as restrições de operação das máquinas, aspectos ergonômicos, entre inúmeras outras necessidades para a produção, manutenção e operação do produto, que fazem aumentar a qualidade do produto ou diminuir o seu custo de produção. Junto com esta gama de necessidades e restrições, inserem-se como membros do projeto as pessoas ligadas a estas áreas. Isto faz com que haja um número maior de interações no projeto. Uma das maneiras de contornar ou amenizar tais problemas é a utilização intensiva de sistemas computacionais.

Estes sistemas podem ser softwares, hardwares e redes que permitem a prática da Engenharia Simultânea em multinacionais e a parceria entre diversas corporações. Tais ferramentas também atuam com o intuito de aumentar a competitividade. Alguns exemplos de tecnologia na Engenharia Simultânea são a prototipagem virtual, a visualização 3D, gerenciamento de dados do produto (PDM), multimídia, intercâmbio eletrônico de dados (EDI) entre outros.

A principal medida gerencial adotada na engenharia simultânea é a superposição de atividades, sendo que ela é viabilizada pela liberação de documentação parcial do projeto para os membros da equipe que trabalham “a jusante” de forma a permitir que eles façam avaliações preliminares do que se passa desde o início (NAVEIRO, 2001). No entanto, conforme aponta Yassine e Braha (2003), não se pode sobrepor atividades indiscriminadamente, pois isto pode gerar retrabalhos e insatisfação das equipes. Deve analisar dois pontos entre as atividades: a sensibilidade da atividade que receberá informações e a variabilidade da atividade que cede as informações. A sensibilidade de uma atividade está relacionada com o impacto nos seus resultados finais com pequenas mudanças e a variabilidade de uma atividade está relacionada com a capacidade da atividade de definir informações parciais. Por exemplo, o cálculo das estruturas transversais de um navio é uma atividade extremamente sensível com relação à forma do casco. Uma mudança na forma do casco faz com que tenha que ser feito novamente todo o dimensionamento desta estrutura. A atividade de definição da forma do casco, em fases iniciais, é uma atividade com grande variabilidade e, portanto, deve-se defini-la melhor antes de liberar informações parciais para a estrutura.

Lamb (1997) faz uma comparação entre o tempo de desenvolvimento de um produto utilizando a Engenharia Simultânea e a Engenharia Seqüencial apresentado na figura 13.

ANO	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3
AUTOMÓVEL SEM ES		DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO E PROCESSO			PROTÓTIPO		PRODUÇÃO	
AUTMÓVEL COM ES			DIP E MODELO 3D DO PRODUTO				PRODUÇÃO	
AERONAVE SEM ES		DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO E PROCESSO			PROTÓTIPO	PROD.		
AERONAVE COM ES			DIP E MODELO 3D DO PRODUTO			PROD.		
NAVIO MILITAR SEM ES		FORMULAÇÃO DE NECESSID.	PROJETO CONCEP. E PRELIMINAR	PROJ. CONTRT.		PROJETO DETALHAMENTO E PRODUÇÃO		
NAVIO MILITAR COM ES			DIP PARA ATIV. PRÉ-CONTRATO	PC		PROJETO DETAL. E PRODUÇÃO		
ES: ENGENHARIA SIMULTÂNEA DIP: DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DO PRODUTO								

Fonte: Adaptado de Lamb (1997)

Figura 13 - Comparação de tempo de desenvolvimento de navios com e sem a Eng. Simultânea

O quadro 9 sintetiza as características da Engenharia Simultânea e faz uma comparação entre a tradicional Engenharia Linear ou Seqüencial.

<b>Engenharia Simultânea (ES)</b>	<b>Engenharia Linear (Seqüencial)</b>
Projeto paralelo de produtos e processos	Projeto seqüencial ou linear
Equipes multifuncionais	Projetistas independentes
Consideração simultânea do ciclo de vida do produto	Consideração seqüencial do ciclo de vida do produto
Ferramentas para o gerenciamento total da qualidade	Ferramentas convencionais de engenharia
Participação do cliente ou usuário final do produto	Clientes e fornecedores não são envolvidos no processo

Fonte: Adaptado de National Academy of Sciences (2001)

Quadro 9 - Comparação entre a engenharia simultânea e a Linear (Seqüencial).

Nota-se que a engenharia simultânea considera os processos orientados ao produto (consideração de elementos do ciclo de vida do produto ainda na fase de projeto) e alguns processos orientados à gerência do projeto (planejamento - sobreposição de atividades).

Atualmente tem-se o conceito de PLM - *Product Lifecycle Management* (Gestão do Ciclo de Vida do Produto) que é o conjunto de ferramentas e conceitos que asseguram uma completa abordagem de todo o ciclo de vida do produto na etapa de projeto. Segundo Cunha *et al* (2003) a incorporação de várias disciplinas em fase de projeto fez com que as empresas considerassem o desenvolvimento do produto como um processo contínuo que devia ser ativamente gerenciado o que fez surgir o conceito de PDP. Este conceito foi estendido posteriormente para cobrir aspectos de pós-venda (como manutenção técnica, mudanças pequenas de projeto, retirada do produto do mercado) levando à elaboração do conceito do PLM. Ultimamente, este conceito tem incluído o processo de tomada de decisão relacionado ao gerenciamento do *portfolio* de produtos e algumas estratégias principais de negócio.

## 2.7 O Projeto de Navios

O navio é um sistema complexo caracterizado pela forte interdependência entre seus subsistemas. O objetivo principal de um projeto de navio é balancear tais subsistemas de forma a obtermos o sistema navio com parâmetros de medida de sua eficiência que atendam aos requisitos pré-estabelecidos.

Cada navio tem sua particularidade e, portanto, requisitos diferentes. Por exemplo, os compradores de navios mercantes podem focar suas atenções na capacidade de carga do navio e na sua velocidade. Já o governo de um país pode necessitar um

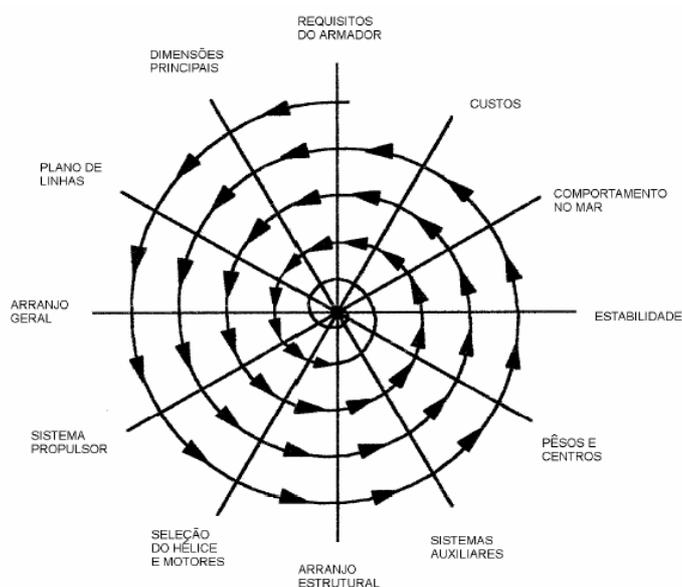
navio para sua defesa, caracterizado pela capacidade combativa do mesmo no teatro de operações estipulado. Portanto, os requisitos de um navio são variáveis. Porém, há uma série deles que são comuns a todos, que podem variar apenas em sua medida. O que é feito é acrescentar-se os requisitos particulares aos comuns.

Esta dissertação focará nos processos que são comuns a todos os navios, sejam militares ou mercantes. Tendo em vista que há uma série de requisitos que são comuns a todos os navios, por exemplo, velocidade e estabilidade, os processos necessários para a determinação destes parâmetros também são similares. Portanto, o abordado será o necessário para a execução de um navio genérico com os requisitos que constituem um conjunto mínimo para o dimensionamento de um navio.

### **2.7.1 Metodologias de projeto de navios**

No item 2.4 foram apresentadas algumas metodologias genéricas de projeto do produto. No entanto, há metodologias que são mais adaptadas ao projeto de navio. O método tradicional de abordagem para a resolução do problema de projetos de navios é a espiral de projeto proposta por Evans (1959). A figura 14 exemplifica a espiral de projeto e nota-se que a característica principal desta abordagem está no seu processo seqüencial e iterativo. Tal modelo enfatiza o inter-relacionamento de seus diversos itens e que cada um deles deve ser considerado em seqüência, aumentando-se o nível de detalhamento à medida que se caminha ao centro da espiral.

A espiral é caracterizada por uma seqüência de atividades específicas que incorpora os requisitos iniciais de projeto e os parâmetros geométricos do navio (geometria do casco, por exemplo) e itens para análise destes parâmetros, como estabilidade e comportamento no mar, repetindo o processo o quanto for necessário para atingir a convergência dos valores.



Fonte: USP (2002)

Figura 14 - Um exemplo de espiral de projeto de navio.

Cada item mencionado tem uma forte dependência com os demais. A estimativa inicial desta iteração é feita, normalmente, com base em navios semelhantes. São feitas várias iterações e aprofunda-se no grau de detalhamento do projeto até obter-se o navio por completo.

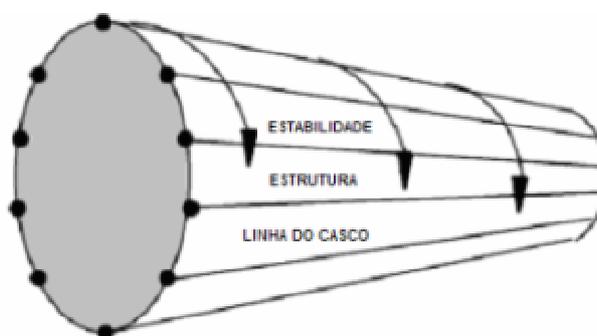
Conforme aponta Laverghetta (1998), para cada item da espiral, sub-espirais podem ser necessárias para analisar características específicas do projeto. Por exemplo, é necessário balancear a capacidade do sistema auxiliar com a geração de potência elétrica para suportar os requisitos de carga. Como consequência, há iterações para projeto e análise dentro de alguns itens conforme ilustra a figura 15.



Fonte: Adaptado de Laverghetta (1998)

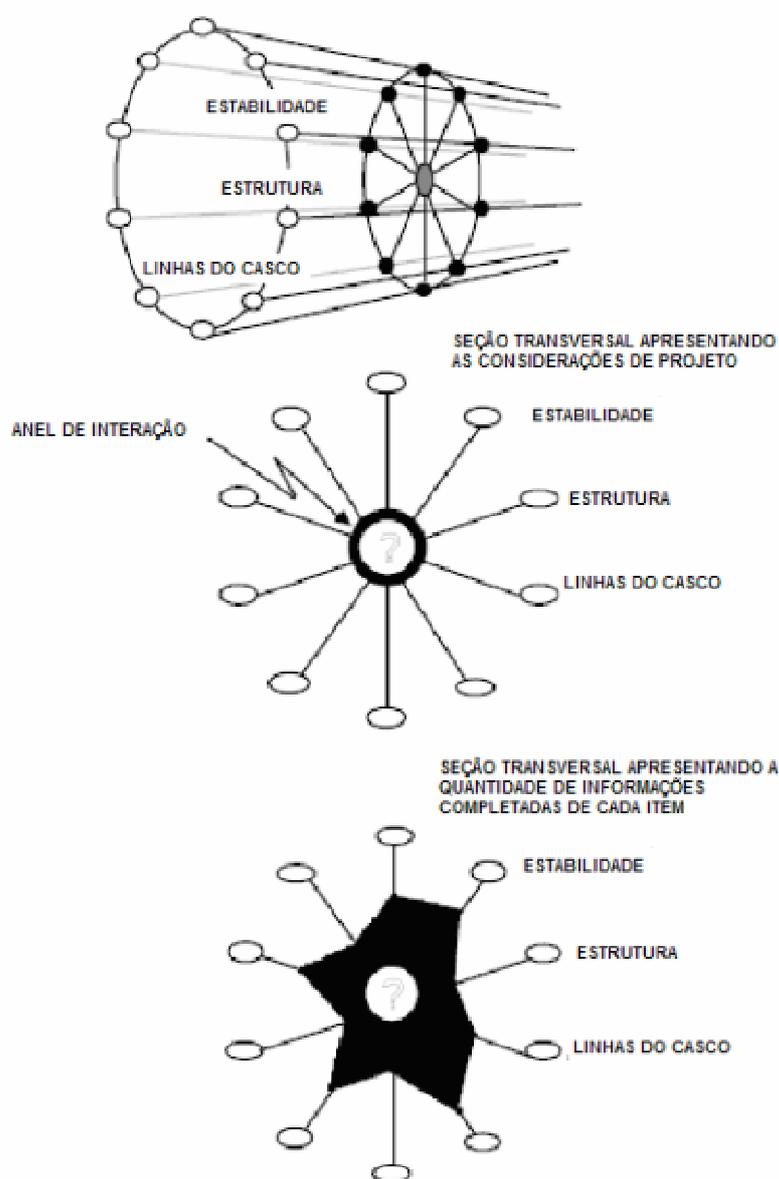
Figura 15 - Espiral de projeto ao longo das fases

Uma visão diferente da espiral de projeto é dada por Mistree *et al* (1990). Conforme aponta os autores, a espiral é válida, mas sua representação não acomoda a engenharia simultânea. Para isso, uma nova perspectiva é dada utilizando-se um tronco de cone (Figuras 16 e 17). Em cada ponto de uma seção são colocados os parâmetros de projeto (ex. estabilidade, estrutura e linha de casco) e há uma liberdade para definir as interações entre tais elementos, não sendo um processo seqüencial. O anel de interação mostrado na figura 17, que representa as interações do processo, faz o papel do integrador do processo. À medida que todos os elementos são considerados, como se tivesse dado uma volta na espiral, o projeto avança em direção à base menor do cone, aprofundando-se no nível de detalhamento dos sistemas.



Fonte: Adaptado de Mistree *et al* (1990)

Figura 16 – Representação do projeto pelo Tronco de Cone.



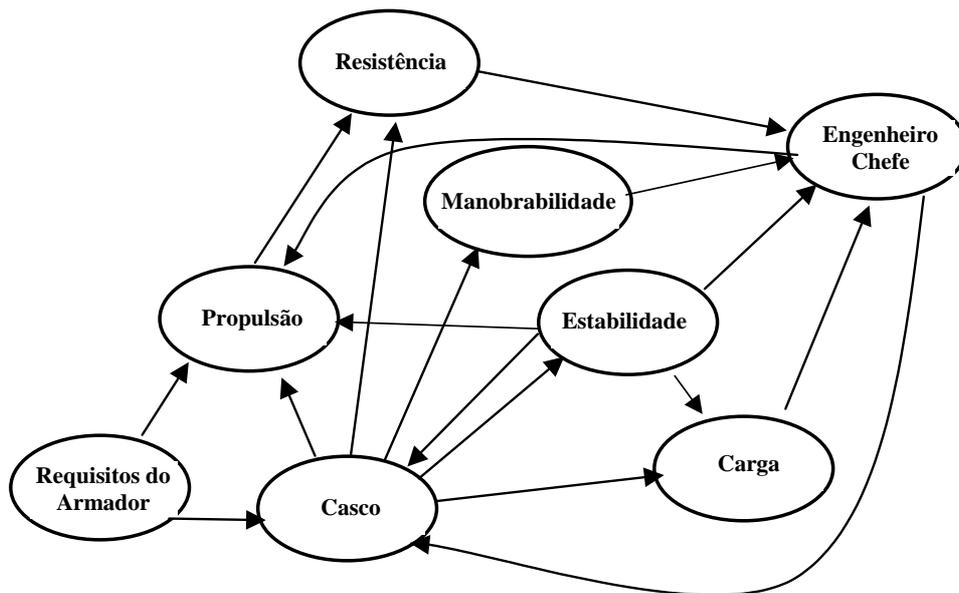
Fonte: Adaptado de Mistree *et al* (1990)

Figura 17 - Espiral de projeto ao longo das fases

A figura 17 ilustra que cada seção do cone representa uma fase do projeto, e tem uma forma irregular que depende dos requisitos de projeto. À medida que se caminha para a base menor do tronco de cone, a seção tende a ter uma forma circular, com todos os estudos definidos. Por exemplo, no item estrutura, em fases iniciais de projeto é feito apenas o dimensionamento da seção mestra do navio. Há uma série de estudos a serem feitos posteriormente, mas para fases iniciais é o suficiente para que se tenham dados para calcular os demais itens da seção. Por isso, a quantidade de informação

no item da estrutura na representação de uma seção é pouca (figura 17) e se completa com a evolução do projeto.

No entanto, a característica interativa do processo é mais bem visualizada com diagrama de interação ilustrado pela figura 18. Nesta figura, uma parte do projeto é colocada em termos de interações entre os seus elementos.



Fonte: Adaptado de Parsons *et al* (1999)

Figura 18 - Exemplo de Diagrama de Interação

O modelo representado pela figura 18 é a Abordagem Híbrida de Agentes para Projetos de Concepção Baseados em Conjuntos proposta por Parsons *et al* (1999). Conforme apontam os autores, nesta abordagem, a proposta de projetos de concepção baseados em conjunto desenvolvida pela Toyota é complementada por uma abordagem híbrida de homens-computadores para facilitá-la por meio de equipes interdisciplinares. Os agentes computacionais são introduzidos entre cada par de agentes humanos para facilitar a comunicação e negociação. Estes agentes são programas de computador com elementos de percepção, inteligência e adaptação com capacidade de tomar ações independentemente. Visualizando a figura 18 cada elipse é um agente que, junto com programas computacionais, provê e recebe informações para a consecução de suas atividades. O agente engenheiro-chefe é o líder da equipe e serve como a voz do consumidor.

Tanto a iteratividade quanto a interatividade ilustrada pela espiral de projeto, tronco de cone e pelo diagrama de interação dão apenas uma visualização macroscópica do processo de desenvolvimento do projeto. O projeto do navio tradicionalmente abordado por estas metodologias está em uma forma bem simplificada com relação à sua complexidade. Há outras metodologias, tanto genéricas quanto específicas para o projeto de navios, conforme apresentam Lamb (2004) e Mistree *et al* (1990), com características semelhantes das apresentadas anteriormente.

### **2.7.2 Engenharia Simultânea aplicada no projeto de navios**

Com a quebra de barreiras tecnológicas e o acirramento da competitividade do mercado, a busca de novos conhecimentos tornou-se primordial de forma a atingir o objetivo de se projetar e construir um navio em menor prazo e com maior qualidade. Com isto, desponta o conceito de Engenharia Simultânea em várias áreas tecnológicas, principalmente na aeronáutica e automotiva, e a engenharia naval não fugiu à regra (LAMB, 1997).

A implementação da engenharia simultânea na indústria naval é algo complexo e oneroso e houve tanto falhas como sucessos (LAMB, 1997). Mas os sucessos apresentados principalmente na indústria automotiva (Chrysler Viper, Ford Mustang) e na aeronáutica (Boeing 777) fez com que o uso de equipes integradas de projeto fosse defendido para futuros projetos de navios nos Estados Unidos (PARSONS, 1999).

A utilização da Engenharia Simultânea em sistemas complexos é relativamente nova. Na Engenharia Naval há poucos dados apontando os principais problemas ocorridos. Lamb (1997) aponta algumas dificuldades na adoção da engenharia simultânea na indústria naval. O autor afirma que se deve ter habilidade para provocar mudanças drásticas no funcionamento da empresa, incluindo a cultura da empresa, o gerenciamento, o envolvimento do trabalhador, as equipes multidisciplinares, e outros aspectos de gerenciamento de interfaces sem prejudicar a empresa como um todo.

Lamb (1997) aponta que a indústria naval tem características específicas devido ao produto a ser construído. Um dos pontos é que o comprador de um novo navio está envolvido desde as fases iniciais de projeto, é bem conhecido. Outro ponto, é que a construção de um navio está geralmente associada a um estaleiro, sabem-se os processos construtivos deste estaleiro. Por fim, outro ponto importante, é que os projetos de navios comerciais são praticamente adaptativos, com poucas margens de

mudanças e bem documentados, com considerável paralelismo de atividades de projeto, planejamento, compra e construção. Um navio militar possui características bem diferentes de navios comerciais, possui muito mais requisitos e restrições, sendo o projeto de concepção de um navio militar semelhante ao projeto preliminar de um navio comercial (LAMB, 2004). Por isso, atualmente, o projeto de navios militares utiliza os conceitos de Engenharia Simultânea, e ajudou a Marinha Norte-Americana a diminuir o tempo de projeto.

Para navios comerciais, no entanto, Lamb (1997) mostra que estaleiros japoneses e europeus competitivos nos mercados não utilizam alguns dos conceitos de engenharia simultânea. Eles não usam equipes multidisciplinares e não há participação de membros da produção, manufatura, entre outros, em fases iniciais de projeto. Tal fato acontece porque os projetistas conhecem os processos e práticas de construção desejadas pelo estaleiro. Isto faz com que as necessidades da construção sejam automaticamente consideradas pelo projetista sem a intervenção de outras equipes especializadas nas fases iniciais. Conforme aponta o autor, o sucesso de um produto novo depende mais em fazer os projetistas tomarem conhecimento dos processos de construção do que juntar projetistas e construtores no mesmo lugar.

Pelos fatores expostos acima, Lamb (1997) afirma que um estaleiro primeiro deve ter um entendimento completo do que eles estão tentando fazer e estabelecer metas antes da implementação de todos os conceitos da Engenharia Simultânea e verificar porque uma mudança é necessária. A Engenharia Simultânea tem sido julgada um sucesso em muitas situações não porque tornou o processo melhor, mas sim, porque aprimorou um processo mal projetado, o que poderia ter sido feito por outras abordagens.

No entanto, Lamb afirma que a Engenharia Simultânea deve ser utilizada onde abordagens iterativas são necessárias, como o desenvolvimento de uma política de construção ou estratégias de montagem do navio. A política de construção está relacionada com a capacidade do estaleiro no qual o navio projetado será construído. Deve-se ter noção da capacidade de corte e soldagem de chapeamento, dobragem de tubulações entre outras. A estratégia de montagem é a definição da seqüência de montagem do navio, a definição dos blocos, costuras de chapeamento entre outras.

Com relação ao planejamento de atividades, Lamb recomenda o uso da *Design Structure Matrix*. Com esta ferramenta, Lamb destaca que devem ser feitos o

seqüenciamento e agrupamento de atividades de um projeto de navio. Conforme aponta o autor, observar o fluxo de informações e o relacionamento entre as atividades permite identificar agrupamentos, e identificar a melhor abordagem para a execução das atividades.

### **2.7.3 Principais ferramentas utilizadas no projeto de navios**

Avanços na capacidade tecnológica tais como programas com vários usuários, capacidade de trabalhar-se em rede, modelagem do produto em 3D entre outros estão levantando oportunidades para usuários trabalharem em conjunto no desenvolvimento do projeto, de uma forma colaborativa em uma base comum de dados.

O projeto de navio evoluiu de ferramentas baseadas em desenhos 2D para as 3D com uma base de dados de informação orientada ao produto, integrando-se o CAD (*Computer-Aided Design*), CAE (*Computer-Aided Engineering*), CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) e ERP (*Enterprise Resource Planning*). Alguns exemplos, dentre outros, do uso destas ferramentas podem ser citados. Com o CAD puderam ser feitas simulações, a definição da estratégia construtiva do navio, a verificação das interferências, o controle mais preciso de peso e centro de gravidade, o cálculo da superfície de pintura. Com o CAE pode ser feita a análise estrutural do navio por meio do método de elementos finitos e cálculos de resistência ao avanço e comportamento no mar por meio de CFD (*Computer Fluid Dynamics*). O CAM permitiu a interface entre o projeto e a produção, levando-se em conta os recursos para a construção dos estaleiros durante a fase de projeto. Por fim, com o ERP, pode-se controlar o material necessário à construção e a logística relacionada com o ciclo de vida do produto. Estes são alguns dos exemplos que fez com que houvesse um sensível aprimoramento em projeto e construção de navios. Atualmente, uma série de simulações é feita antes de o navio ser construído e várias deficiências são encontradas e corrigidas na fase de projeto, de forma a aumentar-se a qualidade do produto.

### **2.7.4 Principais atividades relacionadas ao projeto de navios**

A maioria dos projetos de navios são projetos adaptativos. Conforme definem Pahl e Beitz (1984, apud Naveiro, 2001, p.42), projeto adaptativo usa uma abordagem de solução já conhecida para projetar novos produtos. O projetista se apropria da concepção de um produto já existente e adapta a solução para o caso em tela. Isto pode ser notado pelo estudo de navios semelhantes, que é um dos primeiros estudos

a ser realizado para o projeto de um navio. Logicamente há navios inovadores, onde o nível de incerteza em relação ao produto final é bem maior do que um navio comum, como um petroleiro ou uma fragata. Não é este caso que se está estudando, apesar de a maioria dos estudos mencionados nesta dissertação serem aplicáveis ao mesmo. A diferença é que novos estudos particulares devem ser acrescentados para que diminua o nível de incerteza em relação ao produto. O foco desta dissertação é a metodologia de projetos de navios já conhecidos.

Um ponto a ser observado é que cada escritório possui suas próprias ferramentas para o desenvolvimento do projeto. Há uma infinidade de programas de computadores que auxiliam a realização de uma ou mais atividades relacionadas ao projeto de navios. No entanto, o processo continua existindo no interior destas ferramentas. O que diferencia é a rapidez de execução destas atividades. Portanto, cada escritório de projeto deve verificar suas atividades, dados de entrada e saída da atividade, e interações necessárias para a consecução do projeto.

Algumas atividades, devido à complexidade, devem ser executadas antes do início do projeto e servir de base para todos os projetos. Servem como um banco de dados para o projeto de navios e estão relacionadas à construção, operação e manutenção do navio. São elas a Política de Construção, Estudos Ergonômicos e Estudos de Apoio Logístico Integrado.

### **Política de Construção**

Lamb (1997) apresenta a Política de Construção como a definição da melhor organização e dos métodos construtivos requeridos para a construção dos vários tipos de navios de acordo com as ambições do estaleiro. É desenvolvido junto com o Planejamento de Negócios do estaleiro que não é abordado nessa dissertação. Os principais tópicos do Planejamento de Negócios do estaleiro são: os tipos de navios que o estaleiro deseja construir; a capacidade do estaleiro e objetivos de produção; objetivos de custo e política de custos. Este documento é o ponto inicial da Política de Construção, que engloba para os tipos de navios que o estaleiro pretende construir, a melhor organização e procedimentos que permitirão construir navios eficientemente.

A Política de Construção também descreve detalhadamente os procedimentos a serem adotados e as informações que devem ser produzidas por cada departamento técnico de projeto para a definição do navio. A Política de Construção é na verdade

uma coletânea de necessidades e restrições do estaleiro que devem ser abordadas durante a fase de projeto. Por exemplo, há as dimensões máximas dos blocos do navio a ser construído. São restrições de peso que o guindaste do estaleiro suporta, o tamanho que pode ser construído sem problema para girá-lo ou transportá-lo para carreira para montagem. Há outros exemplos como métodos de soldagem e capacidade de soldagem do estaleiro, dobração de tubulações, métodos de montagem e acabamento entre outros.

Tal documento deve ser preparado por cada estaleiro e os escritórios de projeto devem ter ciência dos condicionantes do estaleiro e abordá-los durante a fase de projeto.

### **Estudos Ergonômicos**

Há uma série de estudos ergonômicos que devem ser abordados durante a fase de projeto. A definição oficial adotada pela Associação Internacional de Ergonomia (IEA) é que “a Ergonomia (ou Fatores Humanos) é uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos a fim de otimizar o bem estar humano e o desempenho global do sistema”. Tal conceito mostra que a ergonomia é multidisciplinar, ou seja, congrega conhecimentos de várias áreas que estudam o Homem e aplica tais conhecimentos para melhorar o desempenho de diversos tipos de sistemas. Portanto, qualquer sistema em que haja a participação humana é objeto de estudo da ergonomia.

Segundo a IEA, os domínios de especialização da ergonomia são:

- Ergonomia física - está relacionada com as características da anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica em sua relação a atividade física. Os tópicos relevantes incluem o estudo da postura no trabalho, manuseio de materiais, movimentos repetitivos, distúrbios músculo-esqueléticos relacionados ao trabalho, projeto de posto de trabalho, segurança e saúde.
- Ergonomia cognitiva - refere-se aos processos mentais, tais como percepção, memória, raciocínio e resposta motora conforme afetem as interações entre seres humanos e outros elementos de um sistema. Os tópicos relevantes incluem o estudo da carga mental de trabalho, tomada de decisão, desempenho especializado, interação homem computador, stress e treinamento conforme esses se relacionem a projetos envolvendo seres humanos e sistemas.
- Ergonomia organizacional - concerne à otimização dos sistemas sóciotécnicos, incluindo suas estruturas organizacionais, políticas e de processos. Os tópicos relevantes incluem comunicações, gerenciamento de recursos de tripulações (CRM - domínio aeronáutico), projeto de trabalho, organização temporal do trabalho, trabalho em grupo, projeto participativo, novos paradigmas do trabalho, trabalho

cooperativo, cultura organizacional, organizações em rede, tele-trabalho e gestão da qualidade.

A USP (2002) desenvolve atualmente o projeto de um navio oceanográfico unindo a Escola Politécnica, representada pelo Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, com a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e o Instituto de Oceanografia. Segundo o Plano de Pesquisas da USP (2002), “a intenção de incluir a abordagem ergonômica no projeto deste novo navio oceanográfico é a de através deste campo de conhecimento, alcançar níveis de eficiência operacional, de segurança e de conforto compatíveis com a importância da missão desta embarcação”.

Este mesmo Plano de Pesquisas mostra que a ergonomia atuará em todas as áreas e instalações da embarcação onde a presença humana seja significativa devido às suas atividades de trabalho, de repouso, de comunicação e de convívio. Assim, como primeiro passo da intervenção ergonômica, serão definidas cada uma das atividades e atividades, seus conteúdos, instrumentos de trabalho relacionados, rotinas, ritmos, jornadas e turno, tanto em condições normais quanto emergenciais. Em uma segunda etapa, serão estabelecidas as características da população de usuários da embarcação quanto aos seus perfis individuais, como idade, sexo, características corpóreas e quanto às suas características coletivas, tais como organização funcional e hierárquica, grau de instrução, necessidades e preferência de recolhimento ou convívio entre outros dados.

Há uma série de exemplos relacionados aos estudos ergonômicos. Stevens e Parsons (2002) apresentam os efeitos dos movimentos do navio na tripulação e reafirmam a importância da consideração dos fatores humanos em projetos destes sistemas, concluindo que “à medida que o projeto de navios progride e a tripulação descrece, maior ênfase deve ser colocada sobre os fatores humanos para assegurar a segurança e eficiência durante a rotina e operações de emergência”. Lewis e Griffin (1997) mostram, também, a preocupação dos efeitos de movimentos de plataformas sobre o Homem e conclui que as normas regulamentadoras são insuficientes para prever a influência da movimentação do navio e plataformas sobre o homem.

Além do enjôo que a movimentação de navios e plataformas causam ao Homem, há o problema da influência da aceleração em trabalhos que exigem o levantamento de peso. Neste sentido, Kingma *et al* (2003) apresentam um artigo investigando os efeitos potenciais de acelerações moderadas na região lombar do Homem em atividades de

levantamento e puxamento de pesos. Concluem que trabalhar a meio navio reduz o risco de sobrecarga na região lombar quando comparado ao trabalho realizado na proa de navios.

Naikar *et al* (2003) apresentam uma técnica de projeto de equipes baseada na análise cognitiva do trabalho e mostram um estudo de caso de aplicação desta técnica para projetar uma equipe de operação de sistemas militares complexos desde as fases iniciais de seu desenvolvimento. Os autores reafirmam o que já foi comentado anteriormente, apontando que uma vantagem de trabalhar na fase de concepção do desenvolvimento do sistema é a que o projeto da equipe pode ser juntada à demanda de trabalho do sistema proposto.

Há diversos outros trabalhos relativos à aplicação da ergonomia em sistemas navais. Hockey *et al* (2003) abordam a ergonomia cognitiva no projeto de sistemas para evitar colisões. Kobus *et al* (2001) apontam os efeitos da experiência e da incerteza durante tomada de decisões dinâmicas. Já Schaafstal *et al* (2000) e Cannon-Bowers (1998) analisam o treinamento de equipes. Portanto, a consideração do Homem no sistema naval está cada vez maior no intuito de aumentar a sua segurança e desempenho.

Assim como a Política de Construção, vários estudos ergonômicos devem ser realizados antes do projeto do navio e servir como condicionantes do projeto. Alguns exemplos de tópicos que devem ser abordados são:

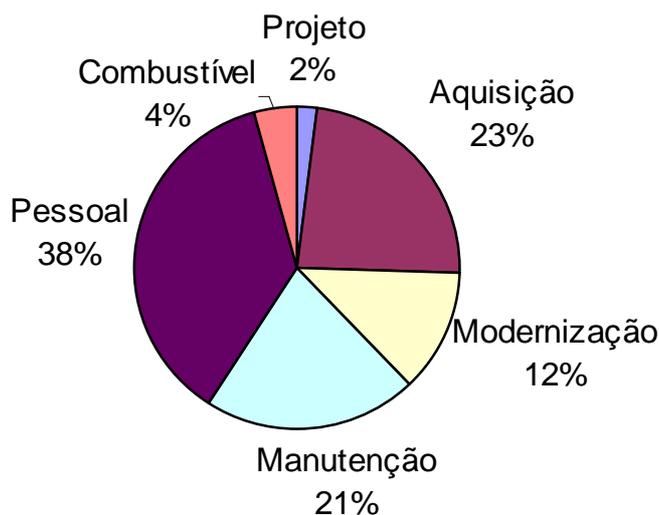
- Disposição preferencial dos compartimentos no arranjo geral tendo em vista, funcionalidade, ruídos, calor, vibração, acelerações do navio, entres outras características inerentes aos navios. Neste item são traçadas diretrizes gerais, como por exemplo, camarotes devem estar preferencialmente a meia nau devido a acelerações menores impostas pelo navio.
- Arranjo de compartimentos padronizados, tais como camarote para duas pessoas, entre outros;
- Largura mínima de corredores, escadas, entre outros;
- Quantidade mínima de vasos sanitários, banheiros, chuveiros para determinada quantidade de pessoas;
- Quantidade mínima de assentos em locais de refeição e recreação;
- Área mínima dos diversos compartimentos;
- Dados para dimensionamento da tripulação;
- Outras informações julgadas úteis pelos ergonomistas e que facilitarão o processo de determinação do Arranjo Geral.

### **Estudos de Apoio Logístico Integrado**

Segundo Laverghetta (1998, p.76), o Apoio Logístico Integrado e Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade são as disciplinas que mais influenciam a

determinação do custo do ciclo de vida do navio e eficiência operacional de um navio militar (figura 19). O Apoio Logístico Integrado é uma abordagem técnica e gerencial que integra considerações de apoio em projetos de sistemas e equipamentos. Os condicionantes de apoio são determinados por objetivos de prontidão, plano de logística atual e planejada, planos de manutenção, níveis de conhecimento de pessoal envolvido na operação e apoio do navio e treinamento.

Novamente este estudo gera uma série de condicionantes para o projeto do navio. Os equipamentos devem ser selecionados visando não somente aos aspectos técnicos, mas aos aspectos de manutenção e obtenção de sobressalentes. Alguns equipamentos, para manutenção, podem necessitar da docagem do navio, ou a sua retirada, influenciando o arranjo dos compartimentos. Por isto, o Apoio Logístico Integrado deve ser considerado nas fases iniciais do navio com o intuito de reduzir custos do ciclo de vida do navio e melhorar a sua eficiência.



Fonte: Ryan e Jons (1991, apud Laverghetta, 1998, p.77)

Figura 19 - Componentes do Custo do Ciclo de Vida para Navios Militares Típicos.

As atividades seguintes são executadas para cada projeto. Estas atividades são realizadas para o projeto do navio em fases iniciais.

### **Estudo de Área de Operação**

A área que o navio determinará algumas necessidades e restrições. Exemplo destas restrições são comprimento, calado, boca do navio. Um navio fluvial tem restrições de comprimento devido às curvas do rio, assim como calado e boca. Navios petroleiros

têm restrições de calado e boca, dependendo dos locais a operar. Além disso, há restrições e necessidades relacionadas à temperatura do ar e água do mar, que interferem principalmente no sistema de condicionamento de ar. Por isso, o estudo da área de operação torna-se essencial para complementação de condicionantes de projeto.

### **Análise de Alternativas**

A análise de alternativas consiste em determinarem-se as possibilidades para a solução do projeto. Exemplos de análise de alternativas podem ser relacionadas ao casco (monocasco, catamarã, trimarã), às máquinas (configurações do sistema), aos propulsores (hidrojato, hélice, duplo hélice, entre outros). Há uma série de soluções para o projeto de um determinado navio, cada uma com vantagens e desvantagens. Deve-se determinar qual é a solução que apresente os melhores desempenhos com relação ao atendimento dos condicionantes de projeto. São conduzidos projetos simplificados de investigação e a melhor alternativa é escolhida. Lamb (2004) coloca o estudo das alternativas como o Projeto Baseado no Conjunto (*Set Based Design*) e segundo o autor, este tipo de abordagem foi desenvolvido pela Toyota. Laverghetta (1998, p.18) aponta que um estudo de grande número de alternativas somente é possível com ferramentas de síntese e afirma que a Marinha Norte-americana utiliza para esta finalidade o programa ASSET (*Advanced Surface Ship Evaluation Tool*). O programa é baseado em uma extensa base de dados, muitos dos procedimentos ainda são manuais, como o arranjo da superestrutura, e serve para indicar o caminho que deve seguir o projeto.

### **Seleção de Navios Semelhantes**

Conforme exposto, a maioria dos projetos de navios é do tipo de projeto adaptativo. Por isso, o primeiro passo para o projeto é a seleção de navios semelhantes. De acordo com as necessidades do projeto, são escolhidos diversos navios que possuem características semelhantes ao navio a ser projetado. Há uma bibliografia especializada que serve para este tipo de estudo junto com a utilização de base de dados própria do escritório.

### **Análise de Navios Semelhantes**

Com a seleção de navios semelhantes, analisam-se as características principais do navio que servirão para a determinação de dimensões principais do navio,

deslocamento, tripulação, áreas e volumes necessários, e pesos. Além disso, os principais equipamentos do navio devem ser avaliados.

### **Definição das Dimensões Principais**

Um dos métodos de definição das dimensões principais é por retas de regressão provenientes da análise dos navios semelhantes. Com isto estimam-se as principais dimensões do navio, como comprimento, boca, calado, pontal, deslocamento.

### **Definição das Linhas de Casco**

Com a definição das dimensões principais do navio, é necessário estabelecer a forma do casco. Há várias maneiras de se determinar a forma do casco e uma delas é pela utilização de séries sistemáticas, que se constituem em linhas de casco pré-determinadas e que apresentam os principais coeficientes relacionados à resistência ao avanço do navio. Como resultado deste estudo esta a definição das linhas de casco e conveses do navio.

### **Análise das Linhas de Casco para Construção**

Lamb (2004b) aponta alguns pontos que devem ser observados na definição das linhas de casco. A análise das linhas de casco para construção baseia-se na Política de Construção. Alguns condicionantes são específicos de cada estaleiro, no entanto, há uma série deles que podem ser aplicados a qualquer estaleiro e devem ser abordados durante o projeto.

### **Análise das Linhas de Casco para Praça de Máquinas**

Este estudo visa posicionar a praça de máquinas de um navio. Este estudo depende de outros estudos, como o plano de linhas, posicionamento de anteparas estanques, alternativas de projeto, áreas e volumes necessários e o estudo de navios semelhantes. A saída deste estudo é o posicionamento da praça de máquinas no navio. Lamb (2004b) apresenta algumas alternativas de posicionamento de praça de máquinas.

### **Estimativa de Áreas e Volumes**

A estimativa de áreas e volumes necessários baseia-se em navios semelhantes. Faz um levantamento de compartimentos necessários ao navio e suas respectivas áreas e

volumes. Soma-se a necessidade de transporte de passageiros. Com isto é possível verificar se o casco está suprimindo as necessidades de área e volume do navio.

### **Estimativa de Tripulação**

A estimativa de tripulação também se baseia em navios semelhantes. O sentido de tripulação utilizado nesse estudo é o pessoal necessário à operação do navio mais os passageiros transportados. A tripulação de um navio terá um impacto maior ou menor, conforme o tipo de navio. A tripulação e número de passageiros de navios militares e de passageiros, que podem possuir milhares de pessoas, tem um impacto muito grande no projeto. Já um navio petroleiro, onde o número de tripulantes é reduzido, a tripulação tem um impacto pequeno no projeto. Em fases iniciais, a tripulação afeta estudos do condicionamento do ar, determinação de áreas e volumes necessários, sistemas de água, sistema de tratamento de águas servidas, sistema de esgoto e lastro e o sistema de controle de avarias.

### **Compartimentação**

A compartimentação visa posicionar anteparas transversais estanques ao longo do navio para que, ao sofrer algum tipo de avaria no costado e alagando determinado número de compartimentos, o navio consiga flutuar. Para isto são necessários o plano de linhas do navio e o posicionamento, estimativa de área e volume da praça de máquinas.

### **Estimativa de Pesos**

A estimativa de peso e controle de pesos é uma das atividades mais importantes no projeto de navios e deve ser um estudo controlado durante toda a fase de projeto (PNA, p.69). Há várias maneiras de estimar o peso do navio conforme aponta a SAWE<sup>3</sup> (2001).

Dentre os métodos apresentados, o manual indica o método *Baseline* como o mais comumente empregado. Neste método, um navio semelhante ao navio construído é escolhido, são coletados os dados da última análise de pesos e acrescentados/retirados pesos que diferenciam o navio em projeto do navio tomado como base. Conforme aponta o manual, margens de erro devem ser estipuladas

---

<sup>3</sup> Society of Allied Weight Engineers

durante todas as fases de projeto e o item peso deve ser tratado como risco para o projeto de navio.

### **Cálculo de Curvas Hidrostáticas**

O cálculo de curvas hidrostáticas tem por objetivo calcular e desenhar uma série de propriedades hidrostáticas do navio em diversos calados. Tal estudo tem importância para estudos de estabilidade e carregamento em fases de projeto. Para a realização deste estudo é necessário o plano de linhas do navio.

### **Ergonomia - Análise de Situações Críticas**

Um dos primeiros passos de estudos de ergonomia é estabelecer as situações críticas pelas quais um navio pode passar. Em um navio militar, as situações críticas são o guarnecimento de postos de combate devido a ameaças, incêndio a bordo, abandono do navio, colisão, alagamento. Em um navio de passageiros, as situações críticas são semelhantes, excetuando-se logicamente a parte combativa. Além destas situações críticas devem ser analisadas outras situações que serão inerentes a cada tipo de navio, por exemplo, o trânsito a bordo em navio de passageiros, entre outros. O estabelecimento das situações críticas auxiliará o dimensionamento de zonas do navio, sob um ponto de vista de análise organizacional, e deverá interagir com tal estudo.

### **Definição de zonas do navio**

A definição de zonas do navio é o primeiro estudo do arranjo geral de compartimentos do navio. Para este estudo são necessários os desenhos dos conveses, estudo de áreas e volumes, posicionamento de anteparas estanques, posicionamento da praça de máquinas, estudos ergonômicos e a análise das situações críticas. Exemplos de elementos a serem considerados do ponto de vista ergonômico são o calor de dentro e fora do navio, ruídos, vibrações, odores desagradáveis, tráfego, proteção contra fogo, explosão, roubo e deterioração, diversidade de deveres, separação hierárquica entre outros. Como resultado, será a compartimentagem do navio em zonas.

### **Cálculo de Resistência ao Avanço**

A resistência ao avanço consiste em determinar-se a força necessária para impulsionar o navio à determinada velocidade. É um estudo que está diretamente relacionado ao plano de linhas do navio. Há vários métodos de estimativas da

resistência ao avanço. Em fases iniciais a resistência ao avanço é determinada empiricamente com a utilização de métodos estatísticos.

### **Definição da Planta Propulsora**

Com o cálculo da resistência ao avanço é possível determinar a planta propulsora que será necessária ao navio desenvolver determinada velocidade de projeto. Nesse ponto a análise de navios semelhantes facilita a escolha da planta propulsora, fornecendo dados de motores e potência utilizada para determinada velocidade. A definição da planta propulsora está ligada ao propulsor e a manobrabilidade do navio. Também a planta propulsora relaciona-se com o tipo de casco, capacidade desejada de manobra do navio, tipo de operação, velocidades entre outras.

### **Definição do Propulsor**

A definição do propulsor consiste em determinar qual o tipo de propulsor será utilizado (hélices ou hidrojato), a quantidade de propulsores e a geometria dos propulsores. A definição do propulsor está relacionada com o plano de linhas do casco, da planta propulsora escolhida, com a manobrabilidade do navio e lemes do navio.

### **Dimensionamento da Seção Mestra**

O dimensionamento estrutural da seção mestra consiste em determinar o chapeamento e perfis necessários para que o navio resista aos esforços solicitantes. Em fases iniciais do projeto o dimensionamento da seção mestra é feito utilizando-se distribuições paramétricas de peso e dados históricos de ondas, que junto com o plano de linhas do navio define os esforços solicitantes a que o navio está submetido. Este estudo pode ser feito por cálculo racional utilizando-se o conceito de viga navio, por formulações de sociedades classificadoras ou por análise por elementos finitos.

### **Dimensionamento da Estrutura Transversal**

Tal estudo consiste em se determinar a estrutura transversal do navio na região da seção mestra. Para isto são necessários o plano de linhas, a compartimentagem do navio e os pesos e centros de gravidade.

### **Definição de Blocos de Construção do Casco**

A definição de blocos de construção do casco consiste em dividir o casco em blocos visando suas construções. Há uma série de fatores que determinam o tamanho e peso

dos blocos, grande parte destes fatores definidos na Política de Construção. Conforme aponta Lamb (2004b), os seguintes fatores devem ser levados em consideração para o dimensionamento dos blocos: tamanho e pesos máximos, restrições de giro do bloco, formas de chapas limites, acesso aos trabalhadores e máquinas para união dos blocos, extensão de uso de máquinas automáticas e semi-automáticas, detalhes de conexões internas, método de cavernamento, tamanhos de chapas máximos ou padronizados, requisitos de suporte dos blocos, a observação de espaços ou tanques adjacentes aos blocos, método de união dos blocos, pontos de sustentação dos blocos para levantamento, dimensionamento para reduzir pinos ou placas de sustentação, utilização de blocos em anéis ao invés de blocos abertos (tipo "U"), blocos compridos ao invés de altos. Este estudo estabelece condicionantes para o projeto de estruturas, definição de compartimentagem do navio. Depende de informações da linha de casco, pesos e centros, estrutura do casco.

#### **Dimensionamento do Sistema de Condicionamento do Ar e Ventilação**

A finalidade do condicionamento de ar é manter a temperatura nos limites toleráveis de funcionamento dos equipamentos eletrônicos, controlar a umidade do ar e prover conforto à tripulação. O sistema de ventilação tem por finalidade ventilar principalmente a praça de máquinas e é função do seu tamanho e da carga térmica de seus equipamentos. O sistema de condicionamento de ar é função do tamanho, do número de compartimentos condicionados, da carga térmica proveniente dos equipamentos e tripulantes e da região de operação do navio.

#### **Dimensionamento do Sistema de Controle de Avarias**

O sistema de controle de avarias tem por objetivo combater incêndios e alagamentos que ocorram a bordo do navio. O sistema consiste em extintores, sistema de água e mangueiras, armários de Controle de Avarias, conjunto de ampolas para combate a incêndio na praça de máquinas, bombas de esgotamento de água. O dimensionamento do sistema está relacionado ao número e tamanho dos compartimentos do navio.

#### **Dimensionamento do Sistema de Aguada**

O sistema de aguada tem a finalidade produzir e armazenar água destinada ao consumo humano, destinado a higiene e outras finalidades como tais como repor perdas nos circuitos de refrigeração. Tem como dados de entrada o número de

tripulantes e a autonomia do navio. A saída do dimensionamento deste sistema são os principais equipamentos de dessalinização e purificação da água e volume necessário aos tanques de aguada.

### **Dimensionamento do Sistema Esgoto e de Tratamento de Águas Servidas**

Este sistema tem por finalidade coletar as águas servidas, tanto as águas cinzentas (água destinada a lavagens, provenientes de pias, ralos e da cozinha), quanto as águas negras (contendo excreções, provenientes de sanitários), e tratá-las para lançamento ao mar conforme normas ambientais e para evitar a ocorrência de gases nocivos ao ser humano. Os principais dados de entrada para o dimensionamento deste sistema são o número de tripulantes, a autonomia ou área de operação do navio. Os dados de saída deste sistema são o volume de tanques necessários à coleta de esgotos e os equipamentos necessários ao tratamento de esgoto.

### **Dimensionamento de Tanques**

Os principais tanques a serem dimensionados em um navio são: tanques de armazenagem de combustíveis e lubrificantes; tanques de aguada; tanques sanitários e sépticos e tanques de lastro. Os principais dados de entrada para o dimensionamento destes tanques são dados de consumo da planta propulsora, número de tripulantes, autonomia e velocidade. A saída será o volume necessário e localização de tanques junto com a localização de tanques vazios utilizados para a separação de tanques para diminuir o risco de contaminação.

### **Estimativa de Carga Elétrica**

A estimativa da carga elétrica é feita tomando-se por base os equipamentos de navios semelhantes. Como dado de saída será a carga elétrica estimada do navio a ser projetado. Posteriormente, uma segunda etapa estima a demanda dos utilizadores e os fatores de utilização dos equipamentos.

### **Definição do Sistema de Eletricidade**

O sistema de eletricidade compõe-se basicamente de geradores principais, quadros elétricos e equipamentos de distribuição de energia, equipamentos de conversão e proteção do sistema. O dado de entrada para a definição do sistema de eletricidade é a carga elétrica do navio e a saída é a definição dos principais equipamentos de bordo do sistema.

### **Controle de Pesos**

Todos os dimensionamentos executados de sistemas devem apresentar o peso. Este peso será controlado e comparado com estimativas iniciais durante todo o projeto, considerando-se as margens de erro e os riscos de projeto. É uma atividade de importância fundamental para o projeto de navios.

### **Cálculo de Comportamento no Mar**

O cálculo de comportamento no mar consiste em determinarem-se as acelerações e movimentos predominantes no navio na sua área de operação à determinada velocidade. Para tal, são necessários o plano de linhas, a distribuição de pesos e centros de gravidade, a área de operação do navio e velocidades do navio. O PNA (1988, p.160) aponta alguns aspectos a serem considerados durante o projeto para a análise de comportamento no mar. A saída será um mapeamento de acelerações que as diversas áreas do navio irá sofrer e servirá principalmente para a compartimentalização do navio e o cálculo de cargas dinâmicas atuantes no navio para o dimensionamento estrutural.

### **Cálculo de Estabilidade Intacta**

Se um navio, inicialmente em equilíbrio, é perturbado por um momento externo, haverá uma mudança em seu ângulo de inclinação em relação à vertical. Estabilidade é a capacidade que o navio possui de retornar à sua posição inicial depois de cessada esta perturbação. O cálculo da estabilidade intacta visa verificar se o navio está atendendo requisitos de estabilidade sem avarias. Há vários critérios de acordo com o tipo de navio. Os principais dados de entrada para este cálculo é o plano de linhas e pesos e centros de gravidade do navio.

### **Cálculo de Estabilidade em Avaria**

O cálculo de estabilidade em avaria verifica se o navio possui estabilidade suficiente mesmo após avarias sofridas no costado e no fundo do navio que promovam o alagamento de compartimentos. Os principais dados de entrada para este cálculo é o plano de linhas, pesos e centros de gravidade do navio e compartimentalização do navio.

### **Dimensionamento do Leme**

O PNA (1988) aponta que o leme tem a função de estabilizar direcionalmente o navio assim como controlar o navio em manobras. A mesma publicação enfatiza que apesar de outros sistemas de controle auxiliarem o navio na sua manobrabilidade, o leme é o mais proeminente de todos. Para o dimensionamento do leme deve considerar-se o plano de linhas do navio e o tamanho do propulsor e dados de manobrabilidade do navio. Também se consideram lemes de navios semelhantes em estágios iniciais de projeto. Os principais pontos a serem observados, de acordo com PNA, são: tamanho do leme de acordo com as dimensões do casco na popa, resistência ao avanço fornecida pelo leme, complexidade do sistema de leme, vibrações que podem ser causadas pelo leme à estrutura do navio.

### **Cálculo de Manobrabilidade**

De acordo com o PNA (1988, p.327), a manobrabilidade é um importante item a ser considerado no projeto, requerendo a análise e revisões em cada estágio. A seção 16 do PNA apresenta uma série de procedimentos e ferramentas de análise para assegurar que o projeto está gerando um navio com adequada manobrabilidade. Os principais dados de entrada são plano de linhas do navio, distribuição de pesos e área do leme. A manobrabilidade do navio está relacionada também com os propulsores e com a planta propulsora. Conforme aponta o PNA (1988, p.332), há uma série de fatores relacionados a estes sistemas que afetam a manobrabilidade e que devem ser considerados durante o projeto.

### **Cálculo de Custos**

Assim como qualquer produto, o cálculo de custos do navio tanto de construção quanto de ciclo de vida, devem ser considerados durante toda a fase de projeto. Para isso recebe informações de todas as áreas de dimensionamento de sistemas. Custos de navios semelhantes servem com um bom parâmetro de avaliação de custos do navio a ser projetado.

## **2.8 Objetivos de Desempenho de um Processo**

Ao se projetar um processo deve-se atentar quais são os objetivos que ele deve atender. Slack *et al* (2002, p.69) aponta cinco objetivos de desempenho que uma operação produtiva, no caso o projeto, deve perseguir para satisfazer seus clientes e que formam o pano de fundo para todo processo decisório da produção: objetivo

qualidade, objetivo rapidez, objetivo confiabilidade, objetivo flexibilidade e objetivo custo.

O objetivo qualidade significa fazer certo as coisas, não cometer erros e satisfazer seus consumidores fornecendo bens e serviços adequados aos seus propósitos e isentos de erro. No entanto, o bom desempenho de qualidade de uma operação não leva apenas à satisfação de consumidores externos, como também torna mais fácil a vida das pessoas envolvidas na operação. No caso do projeto, processos iterativos não planejados fazem com que haja retrabalho e isto pode levar a confusão e irritação dos projetistas envolvidos no processo. Portanto, o objetivo qualidade lida com aspectos internos relacionados com a estabilidade e eficiência da organização.

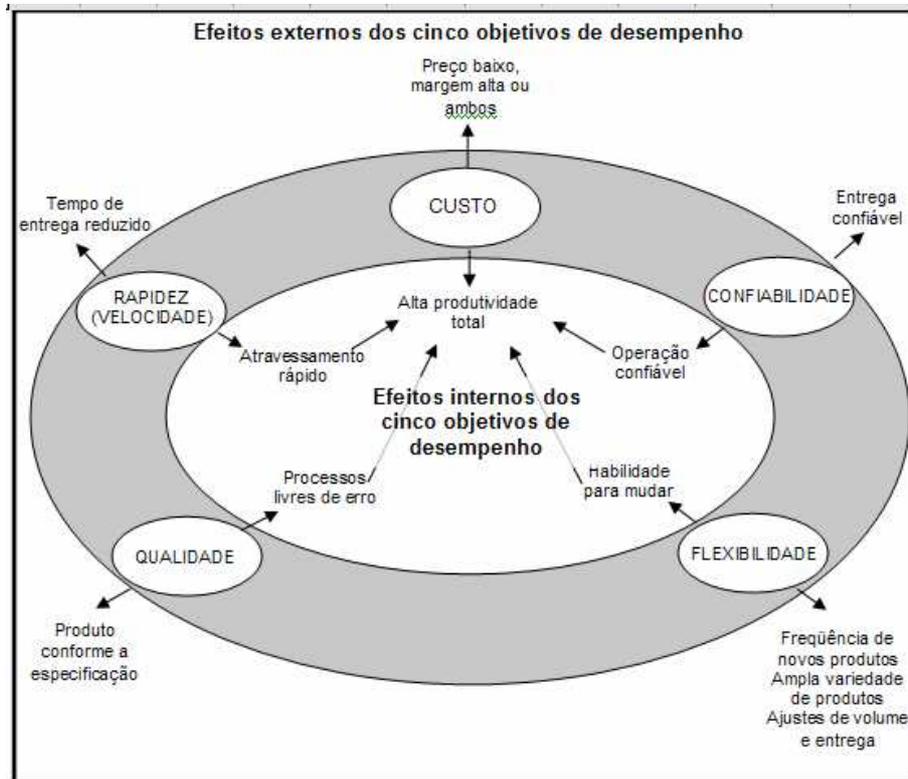
O objetivo rapidez significa quanto tempo os consumidores precisam esperar para receber o produto. Como no objetivo qualidade, a rapidez também tem seu aspecto interno: a resposta rápida aos consumidores externos é auxiliada pela rapidez de tomada de decisão e de fluxo das informações internas da operação.

O objetivo confiabilidade significa fazer as coisas em tempo para os consumidores receberem seus bens e serviços prometidos. No campo interno, os clientes internos julgarão o desempenho uns dos outros analisando o nível de confiabilidade entre as microoperações na entrega pontual de informações.

O objetivo flexibilidade significa capacidade de mudar a operação. Pode ser de 4 tipos: flexibilidade de produtos e serviços (habilidade da operação de introduzir novos produtos ou serviços), flexibilidade de compostos (ampla variedade ou composto de produtos e serviços), flexibilidade de volume (quantidades ou volumes diferentes de produtos e serviços), flexibilidade de entrega (tempos de entrega diferentes). No campo interno, a flexibilidade agiliza a resposta em casos inesperados, economiza tempo e atua na confiabilidade no sentido de manter a operação dentro do programada na presença de eventos imprevistos que perturbam o plano.

Por fim, o objetivo custo, significa diminuir o custo de produção. Para isto, deverá avaliar custos de funcionários, custos de instalação, tecnologia e equipamentos (dinheiro gasto em compra, conservação, operação e substituição de hardware de produção) e custo de materiais (dinheiro gasto nos materiais consumidos ou transformados na produção).

A figura 20 resume os efeitos internos e externos dos objetivos de desempenho em relação a um processo. Fora da elipse estão os efeitos externos e, internos à elipse, estão os efeitos internos. O custo interno é influenciado por outros objetivos de desempenho.



Fonte: Slack *et al* (2002, p.80).

Figura 20 –Efeitos dos objetivos de desempenho externa e internamente a um processo.

### **3 A Matriz de Estrutura de Projeto (*Design Structure Matrix - DSM*)**

Segundo Guivarch (2003), o método de representação matricial chamado DSM foi originalmente concebido por Steward (1981). Até 1990 era pouco disseminado, tendo tido maior difusão durante os anos 90 devido a aprimoramentos e novas aplicações desenvolvidas no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). A DSM foca a atenção no gerenciamento dos requisitos relativos a transferência de informações essenciais de um projeto encontrando informações vitais para iniciar outras atividades, desenvolvendo o planejamento de projetos, removendo repetições não necessárias e simplificando a revisão do projeto (DENKER *et al*, 1999).

Browning (2001) apresenta os principais conceitos da DSM e suas aplicações para modelagem de arquiteturas do sistema, de organizações, de processos baseados no fluxo de informações e para análise da integração de atividades que determinam os parâmetros de projeto, com uma extensa revisão de artigos a respeito do assunto. Eppinger *et al* (2004) apresentam além da revisão bibliográfica os conceitos aprofundados desta ferramenta.

#### **3.1 Importância da DSM**

Blair *et al* (2001) aponta que há um axioma geralmente estabelecido que 80% a 90% dos problemas de projeto não são devidos à falta de conhecimento na disciplinas envolvidas mas sim devidos à quebra de comunicação. Como resultado, há riscos associados ao processo que devem ser avaliados e entendidos. Primeiro, quanto maiores os requisitos de performance do sistema, maiores as sensibilidades e interações. Isto significa que uma grande ênfase deve ser dada nas distribuições de requisitos, interações, integração e confiabilidade das comunicações, de outra forma problemas poderão ocorrer. Segundo, a compartimentalização naturalmente introduz

fronteira, elevando a tendência para uma miopia da disciplina e da indústria. Em terceiro, o projeto de sistema deve ser reconhecido como um ato de balancear requisitos conflitantes e interações. Os autores resumem que para garantir que a abordagem de um projeto funcione uma atenção apropriada deve ser dada para a distribuição e refinamento dos requisitos, ao entendimento das sensibilidades e interações e à garantia da integração técnica por meio de uma adequada comunicação.

Para refinar e distribuir os requisitos e para garantir a integração técnica por meio de uma adequada comunicação, o conhecimento das interações torna-se primordial. O PMBOK (2000) enfatiza que a gerência de projeto é um esforço interativo – uma ação, ou a falta de ação em uma área geralmente afeta outras áreas e que as interações podem ser diretas e claras, ou podem ser incertas e sutis. Naveiro (2001) ressalta a importância da elaboração de uma interface clara entre os subsistemas de forma que se possa identificar, ao longo do processo, os condicionantes que se estabelecem entre eles. No entanto, Sosa *et al* (2004) mostram que estas interfaces e interações nem sempre estão bem definidas.

Além das interações existentes, há a imprecisão inerente à atividade de projeto o que torna o processo iterativo. Conforme visto, ao longo do processo de estruturação de um problema de projeto, o projetista toma decisões baseadas no conhecimento incompleto que ele possui do problema até aquele momento. Por isto, há uma retroalimentação de dados e uma repetição do processo. O entendimento das iterações no projeto é fundamental para acelerar e aprimorar as práticas de desenvolvimento do produto (SMITH e EPPINGER, 1997). Blair *et al* (2001) assinalam que quando o processo funciona apropriadamente e as interações ocorrem entre os subsistemas, funções de projetos e disciplinas, as iterações devem ocorrer para convergir o sistema como um todo para atingir os requisitos. Contudo, conforme expõe Guivarch (2003), a natureza iterativa do projeto não é bem compreendida até mesmo por gerentes de projeto.

Para entender as interações e iterações do processo é preciso saber como ele funciona, ou seja, ele precisa ser mapeado. Guivarch (2003) mostra que as técnicas normalmente utilizadas são o CPM, PERT, IDEF3 (*Integration Definition For Function Modeling*) e gráficos de Gantt. Segundo o autor, nenhuma destas ferramentas de mapeamento do processo ajusta-se à representação de sistemas complexos, principalmente com relação às iterações. O motivo é que essas ferramentas

descrevem o processo como uma série de atividades seqüenciais e paralelas não representando os processos iterativos. Nesse sentido, Eppinger *et al* (1994) e Denker *et al* (1999) afirmam que os processos de desenvolvimento do produto não são facilmente modelados com técnicas como o PERT e o CPM. Além dessas técnicas de modelagem, a utilização de diagramas ou fluxogramas torna-se complicada para análises à medida que se aumenta a complexidade do produto. No entanto, ferramentas para este tipo de modelagem são raras e a DSM teve grande impulso devido a isso.

Foi visto anteriormente que os processos orientados ao produto e os processos de gerência interagem durante o desenvolvimento do produto. Além disso, a Engenharia Simultânea incorpora novos requisitos e restrições no projeto e aumenta o número de interações do processo. No entanto, conforme mostrado, as metodologias de projeto de navios falham ao representar as interações, as iterações e não abordam a gerência em suas metodologias.

Pieroni e Naveiro (2005) mostram brevemente que a utilização do DSM no projeto de navios apresenta resultados satisfatórios quando comparados com metodologias tradicionais. A DSM, devido sua forma matricial, provê uma visualização simplificada e aprofundada das interações entre as diversas atividades e iterações existentes no projeto. Também, a forma matricial permite que haja manipulações por meio de algoritmos permitindo o reordenamento da seqüência de atividades com o intuito de reduzir o número de iterações e agrupar atividades que possuem forte interdependência. Essas características fazem com que a DSM seja uma ferramenta poderosa para apoiar os processos de gerenciamento definidos pelo PMBOK (2000) nas quais o estudo das interações e iterações do projeto torna-se necessário. Por tais motivos, Lamb (2004) recomenda a sua utilização para a organização das atividades a serem realizadas no projeto de navios.

### **3.2 Tipos de DSM**

Segundo Eppinger *et al* (2004), há 4 tipos de DSM que são utilizadas para representar os seguintes tipos de dados:

- 4) Interfaces dos componentes físicos do sistema;
- 5) Interações dos membros da equipe de projeto;
- 6) Interações das atividades de projeto; e

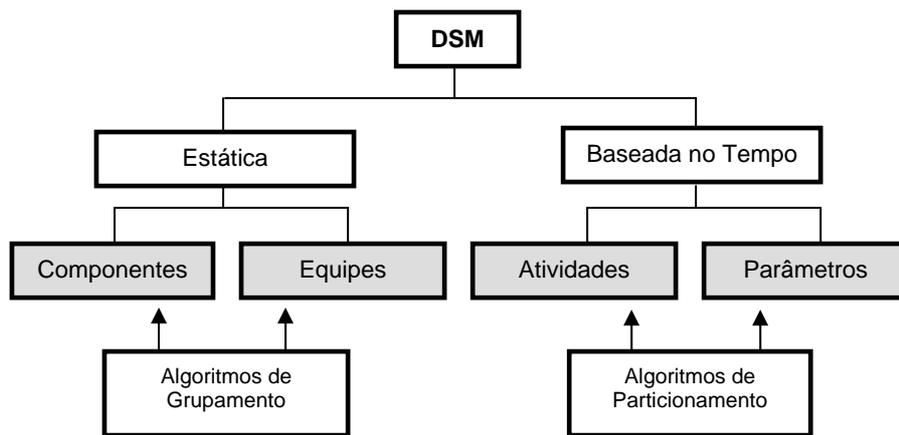
## 7) Interações entre os parâmetros de projeto.

O quadro 10 ilustra os tipos de DSM, o que cada tipo representa, suas principais aplicações e o algoritmo ou método utilizado para a análise. A análise dos dois primeiros tipos visa agrupar os componentes e membros que interagem enquanto que os dois últimos visam estabelecer uma seqüência otimizada de atividades a ser realizada, reduzindo-se o número de interações. A característica principal das interações dos componentes e dos membros é que são independentes do tempo e, por isto, são classificadas como estáticas. Por outro lado, as linhas e colunas da DSM de interações das atividades e dos parâmetros de projeto representam a seqüência que as atividades são realizadas, dependendo do tempo, e são classificadas como dinâmicas. A DSM para o grupo estático utiliza algoritmos de grupamento, enquanto que para o grupo dinâmico, algoritmos de particionamento. A figura 21 ilustra as divisões dos tipos de dados da DSM.

<b>Tipo de DSM</b>	<b>Representação</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Método de Análise</b>
<b>Baseada em componentes</b>	Relacionamento de componentes	Arquitetura de sistemas, engenharia e projetos	Grupamento
<b>Baseada em equipe</b>	Características de interações de equipes	Projeto organizacional, gerenciamento de interfaces, integração de equipes	Grupamento
<b>Baseada em atividades</b>	Relacionamentos de entradas e saídas de atividades	Planejamento do projeto, seqüenciamento de atividades, redução do tempo de projeto e do número de iterações	Particionamento ou seqüenciamento
<b>Baseada em parâmetros</b>	Pontos de decisão de parâmetros e precedentes necessários	Seqüenciamento de atividades no baixo nível de planejamento e processo de construção	Particionamento ou seqüenciamento

Fonte: Eppinger *et al* (2004)

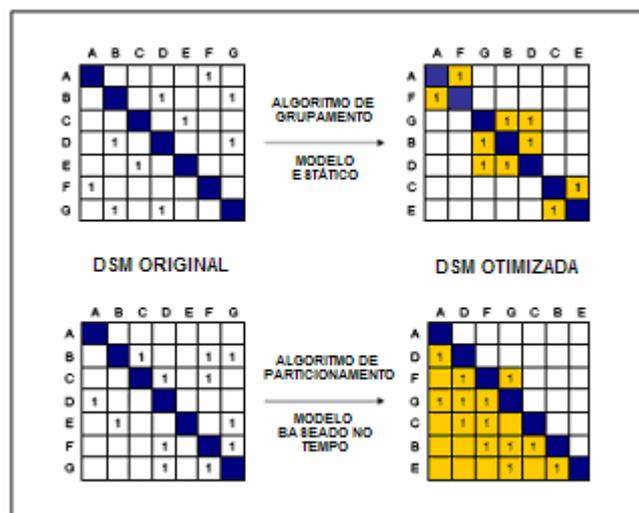
Quadro 10 - Tipos de DSM



Fonte: Batallas e Yassine (2004).

Figura 21 - Tipos de Matrizes de Estrutura de Projeto

A figura 22 ilustra a DSM com os dados iniciais e após a otimização de acordo com o tipo de algoritmo utilizado. No modelo estático há o grupamento dos elementos e, no modelo dinâmico, há uma redistribuição das atividades para que haja o mínimo de iterações. Neste modelo, as células marcadas acima da diagonal principal representam uma iteração conforme será explicado posteriormente e, por isto, o objetivo é alterar a seqüência de atividades para que estas células fiquem abaixo ou próximas da diagonal principal.

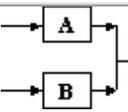
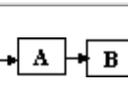
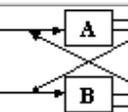


Fonte: Batallas e Yassine (2004).

Figura 22 - Otimização utilizando a DSM

### 3.3 A DSM Baseada em Atividades

A DSM baseada em atividades é uma matriz quadrada que mapeia as interações entre as atividades de um projeto. Neste tipo de DSM, as atividades do projeto são listadas na mesma ordem tanto nas linhas como nas colunas, isto é, as colunas representam a transposição destas linhas. O quadro 11 apresenta as configurações de um sistema. No quadro apresentado, a primeira coluna representa a representação gráfica e a representação na DSM de duas atividades sem dependências, de duas atividades no qual somente uma depende da outra (B depende de A), e de duas atividades acopladas ou interdependentes (B depende de A e A depende de B). A vantagem da utilização da representação das atividades por meio de uma matriz quadrada é que se pode manipulá-la com o auxílio da informática.

Relacionamento	Paralelo	Seqüencial	Acoplado																											
Representação Gráfica																														
Representação da MEP	<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>■</td><td>■</td></tr> <tr><td>B</td><td>■</td><td>■</td></tr> </table>		A	B	A	■	■	B	■	■	<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>■</td><td>■</td></tr> <tr><td>B</td><td>X</td><td>■</td></tr> </table>		A	B	A	■	■	B	X	■	<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>■</td><td>X</td></tr> <tr><td>B</td><td>X</td><td>■</td></tr> </table>		A	B	A	■	X	B	X	■
	A	B																												
A	■	■																												
B	■	■																												
	A	B																												
A	■	■																												
B	X	■																												
	A	B																												
A	■	X																												
B	X	■																												

Fonte: Eppinger *et al* (2004).

Quadro 11 - Três configurações que caracterizam um sistema

O processo inicial consiste em marcar as diversas células desta matriz para identificar quando a atividade de uma linha recebe informações da atividade de uma coluna. Observando a figura 23, a DSM original (matriz da esquerda) apresenta uma série de atividades ordenadas tanto na linha como nas colunas na seqüência de realização das mesmas. Pode-se notar que a linha A tem o número 1 marcado nas colunas C e E. Isto significa que a realização da atividade A necessita de informações das atividades C e E. Por outro lado, olhando a coluna A verifica-se o número 1 marcado nas linhas B e C. Isto significa que a atividade A cede informações para as atividades B e C. A marcação acima da diagonal principal tem um significado especial, pois uma atividade está dependendo de informações de outra atividade que ainda não foi realizada, ou seja, é um processo iterativo. A DSM original da figura 23 mostra que a atividade A precisa de informações das atividades C e E, que ainda não foram realizadas. Quando

não há marcação na célula significa que as atividades que definem esta célula são independentes.

Após o processamento da DSM por algoritmos (figura 23, matriz da direita), nota-se que houve um reordenamento na seqüência de execução das atividades. Com isto foram retiradas todas as iterações não necessárias ao processo. Isto pode ser verificado pela diminuição de marcações com o número 1 acima da diagonal principal. Por outro lado, atividades nas quais são imprescindíveis as iterações foram agrupadas, conforme está ilustrado na matriz da direita da figura 23 como atividades acopladas (atividades A e C e atividades F, H e I). Este tipo de agrupamento tem importância para a organização da equipe, agrupando pessoas que devem ter uma intensa troca de informações. Nota-se também a presença de atividades que podem ser realizadas paralelamente, como a atividades G e L. A atividade L não depende de informações de G e vice-versa e podem ser realizadas paralelamente. Por fim, a atividade D depende de informações de B para ser realizada sendo classificada como atividade seqüencial. Conforme apontam Yassine e Braha (2003) e comentado anteriormente, toda atividade seqüencial permite um certo grau de paralelismo de realização, no entanto, tal superposição deve ser avaliada criteriosamente quanto à variabilidade e sensibilidade das atividades.

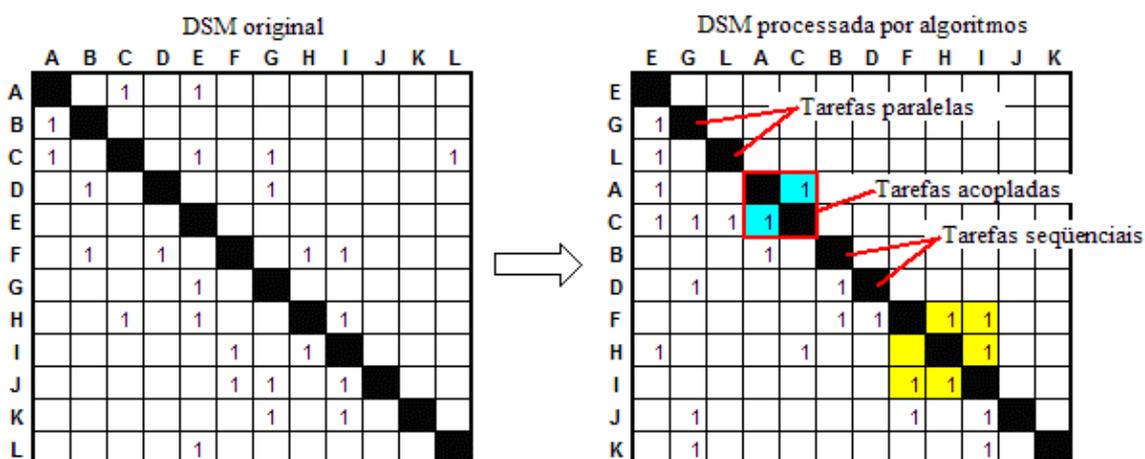


Figura 23 – Exemplo de otimização do processo utilizando a DSM

Nesta dissertação usou-se um programa de computador de gerenciamento de projeto proposto como tese de mestrado no MIT por Cho (2001). Tal programa é uma DSM que funciona nos mesmos moldes do que foi apresentado, marcando-se com o número 1 quando uma linha depende de informações de uma coluna. No entanto, o

programa permite a marcação do número 2 quando, apesar de uma atividade depender da outra, ela pode receber informações parciais durante a execução da atividade predecessora, de acordo com os princípios da Engenharia Simultânea, conforme ilustra a figura 24. Nesta dissertação utilizaram-se apenas os relacionamentos do tipo 1.



Fonte: Adaptado de Cho (2001).

Figura 24 – Tipos de relacionamentos seqüenciais.

Apesar de o programa citado fazer outros tipos de análise, para o escopo desta dissertação somente utilizar-se-á o módulo de estruturamento que faz o mapeamento das interações e reordena a seqüência de realização das atividades com o intuito de diminuir o número de iterações.

## **4 APLICAÇÃO DA DSM NO PROJETO DE NAVIOS**

O primeiro passo para a equipe de projeto após o recebimento da missão é o planejamento de como serão conduzidas as diversas atividades relacionadas ao projeto. Para isso utilizou-se a metodologia apresentada pelo próprio PMBOK. Após o planejamento e detalhamento de escopo, a primeiro ponto é definir quais são as atividades que devem ser conduzidas para o projeto.

Para isso, dividiu-se em atividades relacionadas à gerência e atividades orientadas ao projeto de engenharia de um navio. Foi feita a análise destas atividades por meio da DSM e tirou-se uma série de conclusões.

### **4.1 Análise das Atividades Orientadas à Gerência**

O PMBOK lista as principais atividades e apresenta suas entradas e saídas. Algumas destas atividades necessitam de dados históricos, premissas e restrições e outros documentos que devem ser confeccionados antes do início do planejamento, como o quadro de recursos humanos disponíveis para o projeto ou a política organizacional da empresa. Estes dados foram retirados da análise de entrada e saída das atividades e devem ser considerados na maioria das atividades. Outro ponto a ser ressaltado é que as Gerências da Qualidade, Gerência de Riscos e a Gerência de Integração recebem e transmitem informações para grande número de atividades incluindo aquelas relacionadas ao produto e fazem, portanto, papel de integradoras. Por isso, foram retiradas as atividades relacionadas a estas áreas e elas devem ser consideradas durante todo o ciclo do projeto.

As principais atividades de gerência estão explicitadas no item 2.5.2 e o quadro 12 apresenta uma breve descrição do objetivo de cada atividade de acordo com o PMBOK.

ATIVIDADE	OBJETIVO
Processos de iniciação da gerência de escopo	Elaborar um documento que autoriza formalmente o projeto, incluindo as necessidades do negócio que o projeto está incumbido de tratar, a descrição do produto. Este documento é chamado de Project Charter. Além disso designará o gerente do projeto.
Planejamento de escopo	Desenvolver uma declaração escrita do escopo, como base para futuras decisões no projeto.
Detalhamento do escopo	Subdividir os principais subprodutos do projeto em componentes menores e mais manuseáveis.
Definição das atividades	Identificar as atividades específicas que devem ser realizadas para produzir os diversos subprodutos do projeto.
Seqüenciamento das atividades	Identificar e documentar as dependências entre as atividades
Estimativa de duração das atividades	Estimar o número de períodos de trabalho que serão necessários para completar as atividades individuais.
Desenvolvimento do cronograma	Criar o cronograma de projeto a partir da análise de seqüência de atividades, suas durações e necessidades de recursos.
Planejamento dos recursos	Determinar que recursos (pessoas, equipamentos, materiais, etc.) devem ser utilizados, e em que quantidades para a realização das atividades de projeto.
Estimativa de custos	Desenvolver uma aproximação dos custos dos recursos que serão necessários para completar as atividades do projeto.
Orçamento dos custos	Alocar a estimativa dos custos globais aos pacotes individuais de trabalho.
Planejamento organizacional	Identificar, documentar, e atribuir papéis e responsabilidades hierárquicas.
Montagem da equipe	Conseguir que os recursos humanos necessários sejam designados e alocados ao projeto.
Planejamento das comunicações	Determinar as necessidades das partes envolvidas quanto à informação e comunicação, isto é, quem necessita de qual informação, quando necessita e como esta informação será fornecida.
Desenvolvimento do plano de projeto	Agregar os resultados dos outros processos de planejamento construindo um documento coerente e consistente.

Fonte: PMBOK

Quadro 12 - Principais atividades do gerenciamento do projeto

#### 4.1.1 Mapeamento de interações de atividades da gerência

Com a lista de atividades e as entradas e saídas de cada atividade apontada pelo PMBOK, utilizou-se a DSM para mapeamento das interações conforme mostra a figura 25. Verificou-se que as ferramentas apontadas pelo PMBOK são baseadas em diagramas e, conforme será abordado posteriormente, tais ferramentas apresentam restrições para mapear as interações e para definir a melhor seqüência de realização de atividades, principalmente de sistemas complexos. Por isso, resolveu-se empregar a DSM para tal análise.

Após o mapeamento das interações, processou-se a DSM e o resultado obtido está mostrado na figura 26.

Task Name		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Planejamento do Escopo	1	■												
Detalhamento do Escopo	2	1	■											
Definição das Atividades	3	1	1	■										
Sequenciamento de Atividades	4			1	■									
Planejamento dos Recursos	5	1	1			■				1				
Planejamento das Comunicações	6				1	1	■	1						
Planejamento Organizacional	7				1	1		■						
Montagem da Equipe	8							1	■					
Estimativa de Duração das Atividades	9			1		1				■				
Estimativa dos Custos de Atividades de Projeto	10		1			1				1	■			
Desenvolvimentos do Cronograma	11				1	1				1		■		
Orçamento dos Custos de Atividades de Projeto	12		1								1	1	■	
Desenvolvimento do Plano de Projeto	13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	■

Figura 25 – Interações das atividades do PMBOK na DSM

Task Name		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Planejamento do Escopo	1	■												
Detalhamento do Escopo	2	1	■											
Definição das Atividades	3	1	1	■										
Planejamento dos Recursos	4	1	1		■	1				Block1				
Estimativa de Duração das Atividades	5			1	■	1								
Sequenciamento de Atividades	6			1		■								
Planejamento Organizacional	7				1	1	■							
Estimativa dos Custos de Atividades de Projeto	8		1		1	1		■						
Desenvolvimentos do Cronograma	9				1	1	1		■					
Planejamento das Comunicações	10				1	1	1			■				
Montagem da Equipe	11							1			■			
Orçamento dos Custos de Atividades de Projeto	12		1						1	1		■		
Desenvolvimento do Plano de Projeto	13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	■

Figura 26 – Interações do PMBOK na DSM após o processamento

#### 4.1.2 Análise de interações de atividades

A simples aplicação da DSM para mapeamento de atividades do PMBOK nos permite uma série de análises. Lembra-se que a Gerência da Qualidade, Gerência de Riscos e Gerência de Integração interagem com praticamente todas as atividades mencionadas e com as atividades relacionadas aos processos orientados ao produto e devem ser consideradas a todo o momento.

O primeiro ponto é que a DSM apresenta uma visualização simples das interações das atividades de gerenciamento. Outro ponto a ser observado é que se nota facilmente, pela figura 26, quais atividades podem ser executadas em paralelo após o

processamento pela DSM. Verifica-se que as atividades 7 e 8 podem ser executadas em paralelo, pois uma não depende da outra. O mesmo ocorre com as atividades 9 e 10 e com as atividades 12 e 13. Tal fato facilita o estabelecimento do cronograma de planejamento.

Observando a figura 26 nota-se a importância do seqüenciamento de atividades pelo fato de esta atividade ceder informações chaves para planejamento das comunicações, planejamento organizacional, e desenvolvimentos de cronograma, que são atividades diretamente associadas ao mapeamento das interações e seqüenciamento de atividades. Tal fato comprova o que é observado na prática com as lições aprendidas no projeto de veículos lançadores de satélite. Conforme aponta Blair *et al* (2001) mencionado anteriormente, 80% a 90% dos problemas de projeto não são devidos à falta de conhecimento nas disciplinas envolvidas, mas sim devidos à quebra de comunicação. Os autores resumem que para garantir que a abordagem de um projeto funcione uma atenção apropriada deve ser dada para a distribuição e refinamento dos requisitos, ao entendimento das sensibilidades e interações e à garantia da integração técnica por meio de uma adequada comunicação. A distribuição e refinamento dos requisitos estão associados ao detalhamento do escopo. O detalhamento do escopo definirá as atividades que devem ser executadas no projeto. Analisando-se as interações entre as atividades é possível estabelecer a melhor seqüência de realização das mesmas e planejar as comunicações e organização da equipe de projeto. Portanto, comprova-se que o mapeamento das interações tem importância fundamental no planejamento e gerência de projeto.

Com relação à importância do seqüenciamento de atividades, a DSM tem um papel fundamental, pois por meio de algoritmos estabelece o melhor processo seqüencial. Quanto maior o número de atividades, menor a capacidade humana de identificar a seqüência de realização mais precisa, com um menor número de iterações. Apesar de um número reduzido de atividades, isto pode ser evidenciado a partir da figura 25, que apresenta um número maior de processos iterativos quando comparada com a figura 26.

Observando-se a figura 26 fica bem claro o processo iterativo entre o planejamento de recursos e a estimativa de duração das atividades. Conforme aponta o PMBOK, uma determinada atividade pode ser feita mais rápida ao se alocar um engenheiro sênior ao invés de um engenheiro júnior para a sua realização, ou mais de uma pessoa caso a atividade possa ser decomposta. Isto tem grande importância, pois os responsáveis

das duas áreas devem reunir-se para a elaboração de suas atividades e acelerar o processo de resolução do problema.

Outro fato importante a ser observado é que os preceitos da Engenharia Simultânea estão contidos dentro do detalhamento de escopo, definição de atividades e definição do seqüenciamento e cronograma de atividades. Conseqüentemente, mudanças no detalhamento de escopo e no seqüenciamento de atividades afetam praticamente todas as demais atividades, incluindo planejamento das comunicações, planejamento de recursos, planejamento organizacional entre outras. Pode ser por este fato que alguns autores apontam dificuldades na implementação da Engenharia Simultânea como falhas de comunicação, mudanças organizacionais, etc. Com a implementação dos conceitos da Engenharia Simultânea se faz necessário mapear as interações entre as atividades e o seqüenciamento de realização destas atividades, repercutindo nas demais atividades de planejamento.

Conforme aponta o PMBOK, os processos relacionados à de gerência de projetos é iterativo. Isto se explica pelo fato de a maioria das atividades relacionadas ao planejamento é feita por meio de estimativas. Foi visto que algumas das causas da necessidade de iterações são estimativas mal feitas ou surgimento de novas informações. Portanto, para cada uma das atividades mencionadas há uma necessidade de criação de uma base de dados que permita acumular dados provenientes da realização dos projetos para futuras estimativas. Pontualmente, verifica-se que o detalhamento de escopo é uma das atividades chaves para o planejamento. Por isso, quanto menor for o conhecimento relacionado ao produto a ser projetado, maior é a necessidade de estudar o detalhamento do escopo e a necessidade de elaboração progressiva do projeto.

O estabelecimento de um processo orientado à gerência é um projeto de processo que é refinado com o tempo. Conforme os projetos são realizados, melhores são as estimativas e pontos do processo são melhorados. O processo apontado acima com base no PMBOK é o início do projeto de processo para as empresas.

Por fim, as figuras 27 e 28 ilustram o processo por meio de diagrama de precedência. A figura 27 é o resultado desta dissertação de acordo com as interações apontadas pelo PMBOK. A figura 28 é o modelo representado pelo PMBOK. Nota-se que há algumas diferenças entre as interações. Alguns pontos merecem destaques.

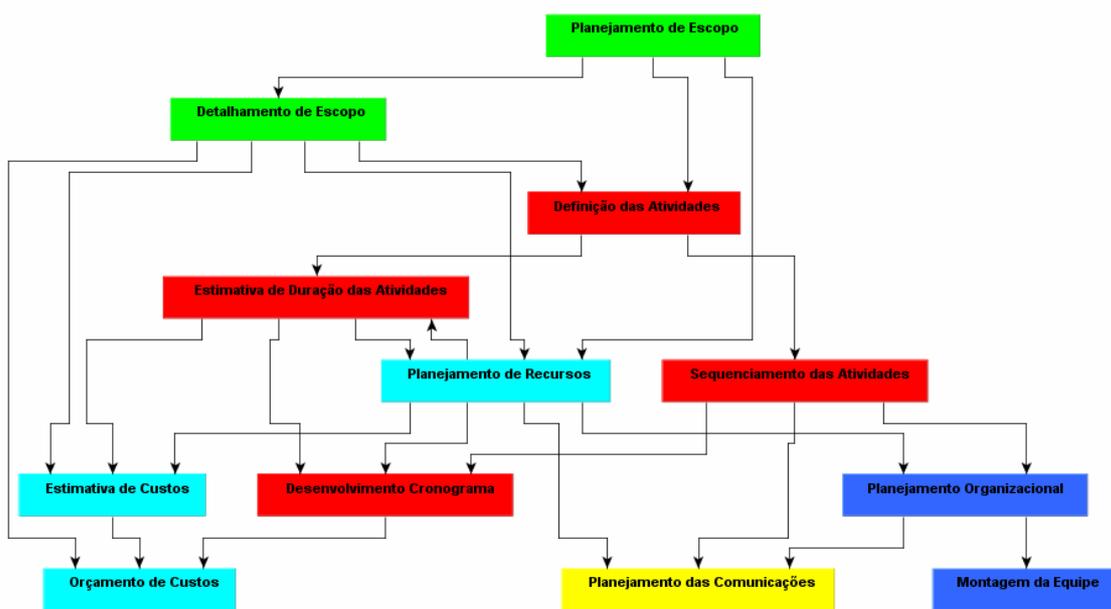


Figura 27 - Diagrama de precedência de atividades após análise com a DSM

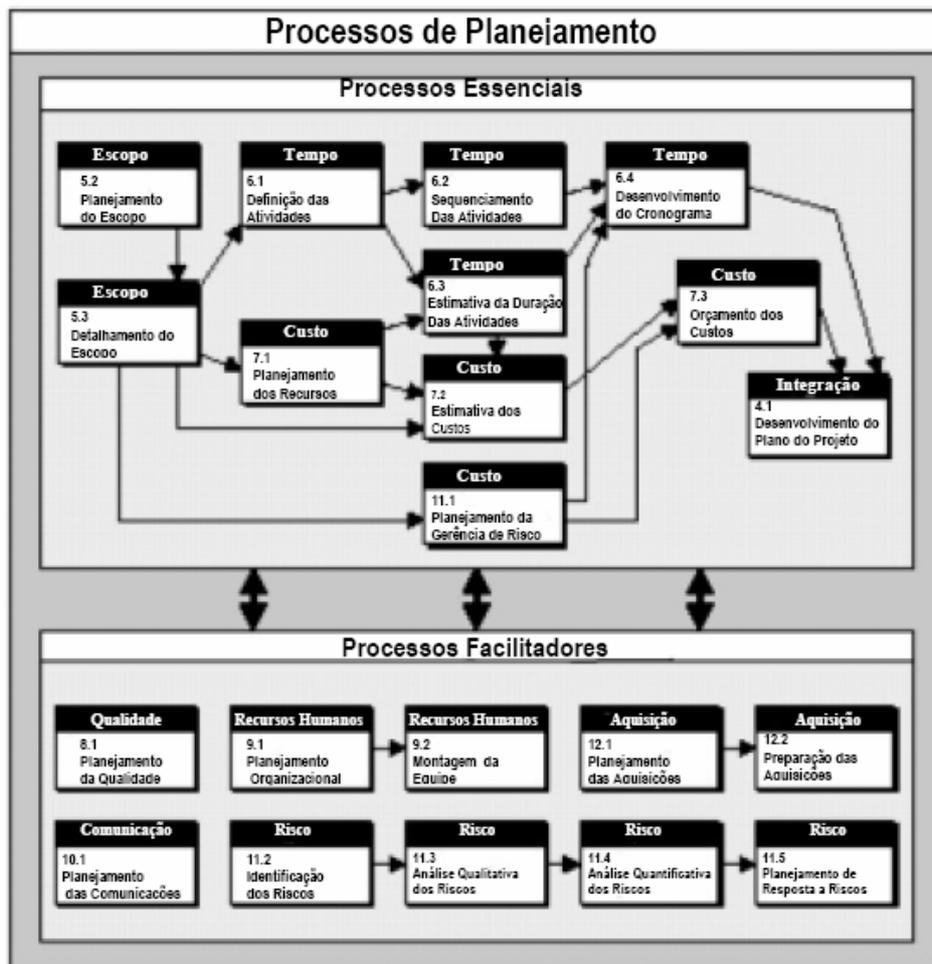


Figura 28 - Diagrama de precedência de acordo com o PMBOK

O primeiro ponto é que a figura 28 não apresenta o processo iterativo entre a estimativa de duração das atividades e o planejamento de recursos. Conforme visto, a estimativa de duração de atividades e o planejamento de recursos é um processo iterativo. São atividades interdependentes. Portanto é importante mostrar tal interdependência nos diagramas.

O segundo ponto é que o planejamento organizacional, a montagem de equipes e o planejamento das comunicações estão colocados como processos facilitadores, interagindo durante todo o tempo do planejamento. No entanto, tais atividades possuem interações claras e definidas com outras atividades de planejamento, ao contrário do planejamento da qualidade e de riscos, que interagem com praticamente todas as atividades. Não representar estas interações mascara a importância do seqüenciamento de atividades que cede informações essenciais para o planejamento organizacional e das comunicações.

#### **4.2 Análise das Atividades Orientadas ao Produto Navio**

Seguindo o modelo apresentado pela figura 27, verifica-se que para o projeto de um navio o primeiro passo é o planejamento de escopo e, a seguir, o detalhamento de escopo. Para esta dissertação, escolheu-se um navio genérico e as atividades que devem ser executadas para praticamente qualquer tipo de navio. Dentre estas atividades inseriu-se algumas relacionadas com a Engenharia Simultânea e com a própria gerência de projetos. No entanto, há uma série de atividades que devem ser realizadas antes do início do projeto que visam à preparação do escritório de projeto para a aplicação dos conceitos da Engenharia Simultânea e da Gerência de Projetos.

As atividades relacionadas à Engenharia Simultânea constituem-se em um estabelecimento de condicionantes a serem abordados durante a realização do projeto. Alguns destes condicionantes devem ser analisados antes do início do projeto pelo fato de não estarem diretamente relacionados ao navio a ser projetado. Eles visam preparar o escritório de projeto com condicionantes relacionados à produção, manutenção e operação do navio durante o seu ciclo de vida. As principais atividades são a realização de estudos a respeito da Política de Construção, da Ergonomia e de Apoio Logístico conforme explicitados anteriormente. Outras atividades relacionadas à Engenharia Simultânea devem ser realizadas ao longo do projeto, pois depende do tipo de navio. Um exemplo destas atividades é a análise das linhas de casco para a

construção, tentando minimizar a curvatura de chapas com o intuito de reduzir o custo de produção.

As atividades relacionadas à Gerência de Projetos constituem-se no projeto do processo e determinação dos principais documentos a serem confeccionados durante a realização do projeto conforme visto no item anterior. Durante o projeto, há as atividades de controle da execução do projeto, como o controle de escopo e de cronograma.

#### **4.2.1 Mapeamento de interações de atividades orientadas ao produto**

Com a lista de atividades e as entradas e saídas de cada atividade relacionadas no item 2.7.4, utilizou-se a DSM para mapeamento das interações conforme mostra a figura 29. Conforme visto anteriormente, as interações foram estabelecidas utilizando-se o PNA (1988), Laverghetta (1998), Bogosian Neto (2005) e Lamb (1997).

Após o mapeamento das interações das atividades de projeto (figura 29), representou-se o mapeamento por meio de grafos (figura 30) e pela DSM (figura 31). A teoria de grafos otimiza por meio de uma matriz de adjacência e representa as interações por meio de grafos que é um tipo de diagrama de precedência. Na figura 30 os números contidos nos retângulos correspondem às atividades da figura 29. Já na figura 31, a representação de atividades é pela própria matriz de adjacência e denominada DSM.

A reordenação de atividades pelo método de diagramas pode ser notada pela primeira atividade a ser executada (figura 30) olhando-se da esquerda para a direita que é a de número 2 da figura 29. Tal atividade corresponde ao apresentado pela DSM processada da figura 31. Resumindo-se, a seqüência de realização de atividades tanto pela figura 30 quanto pela 31 é a mesma. O que muda é a forma de representação.

Task Name	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
Análise de Alternativas de Projeto	1																																				
Estudo da área de operação do navio		1																																			
Seleção de Navios Semelhantes			1																																		
Análise de Navios Semelhantes				1																																	
Definição das Dimensões Principais					1																																
Definição das Linhas de Casco e Conveses						1																															
Análise das Linhas de Casco para Construção							1																														
Análise das Linhas de Casco para Praça de Máquinas								1																													
Estimativa de Áreas e Volumens									1																												
Estimativa de Tripulação										1																											
Compartimentação											1																										
Estimativa de Pesos												1																									
Cálculo de Curvas Hidrostáticas													1																								
Ergonomia - Análise de Situações Críticas														1																							
Definição de zonas do navio															1																						
Cálculo de Resistência ao Avanço																1																					
Estimativa Preliminar da Estabilidade																	1																				
Definição do Motor																		1																			
Definição do Propulsor																			1																		
Dimensionamento da Seção Mestre																				1																	
Dimensionamento da Estrutura Transversal																					1																
Definição de Blocos de Construção do Casco																						1															
Dimensionamento do Sistema de Condicionamento do Ar e Ventilação																							1														
Dimensionamento do Sistema de Controle de Avarias																								1													
Dimensionamento do Sistema de Água de Aguada																									1												
Dimensionamento do Sistema de Tratamento de Águas Servidas																										1											
Dimensionamento de Tanques																											1										
Estimativa da Carga Térmica																												1									
Estimativa de Carga Elétrica																													1								
Definição de Geradores Principais																														1							
Controle de Pesos																																1					
Cálculo de Comportamento no Mar																																	1				
Cálculo de Estabilidade Intacta																																		1			
Cálculo de Estabilidade em Avaria																																		1			
Dimensionamento do Leme																																			1		
Cálculo de Manobrabilidade																																			1		
Cálculo de Custos																																				1	

Figura 29 – Interações das atividades de projeto de navio na DSM

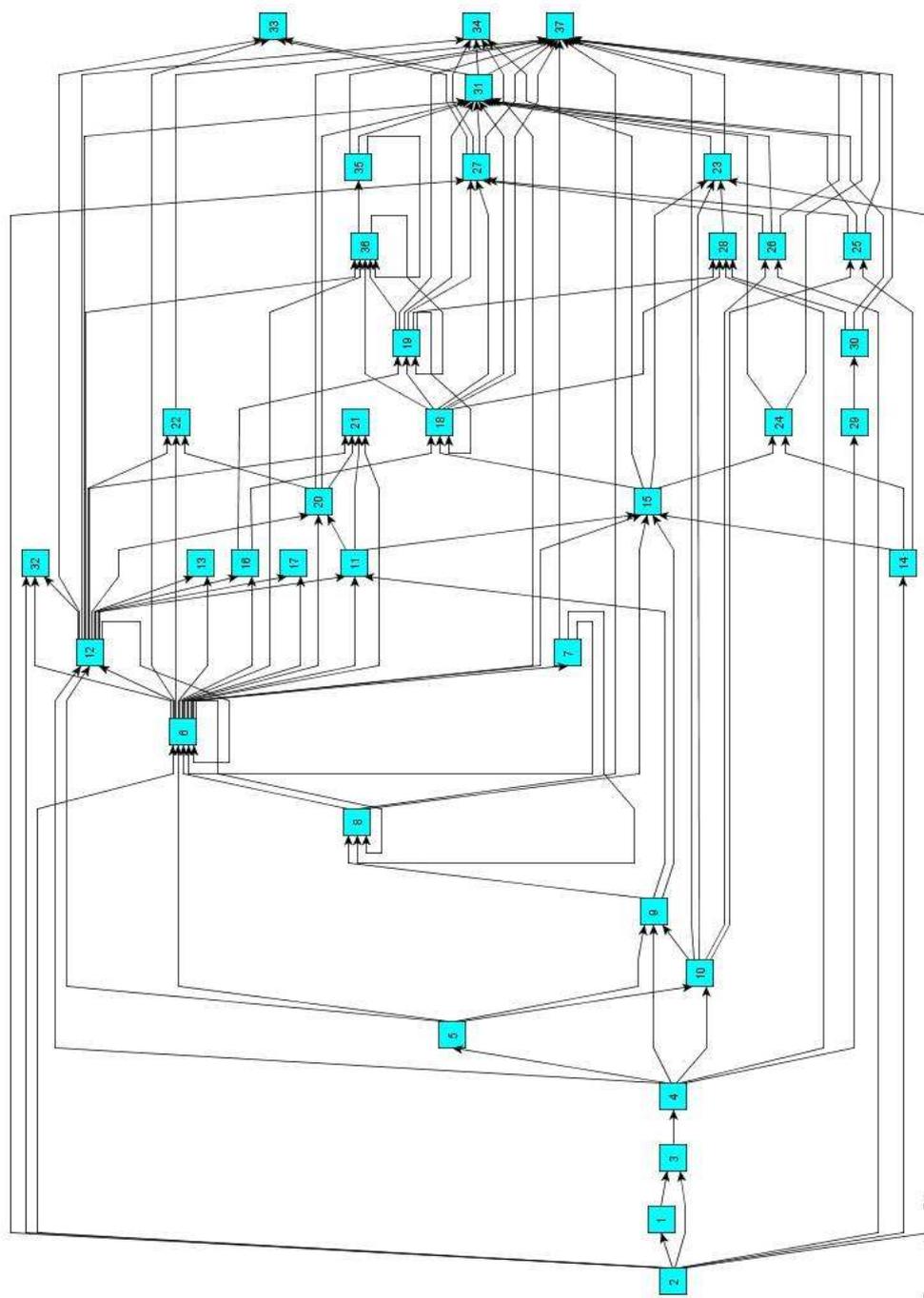


Figura 30 – Diagrama de precedência do processo de projeto de navios baseado na figura 29.

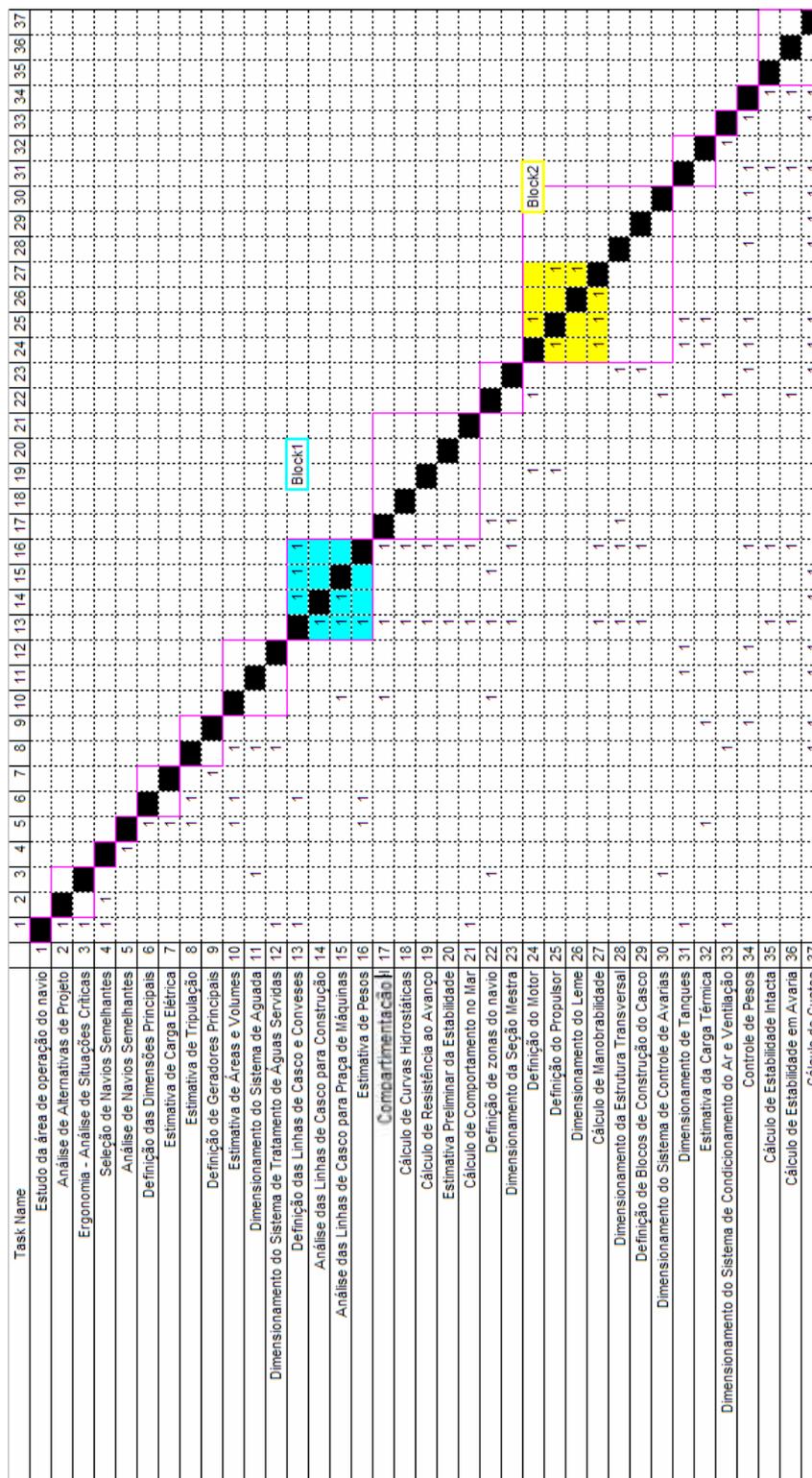


Figura 31 – Interações das atividades de projeto de navio na DSM após o processamento

#### 4.2.2 Análise de interações de atividades orientadas ao produto

O primeiro ponto a se notar é que a figura 30 permite uma visualização detalhada do processo, representando simultaneamente a seqüência de realização de atividades, as interações entre as atividades e os processos iterativos. A figura 30 representa por diagrama de precedência as interações ilustradas na figura 29. Verifica-se que por meio de diagramas de precedência fica complicado analisar as interações de projeto. Observando a figura 31 nota-se com facilidade a seqüência de realização de atividades (seqüência mostrada nas linhas), as interações entre as atividades (marcações com o número 1 nas células da matriz) e os processos iterativos, (blocos coloridos dentro da matriz). Por isso, a DSM tem um papel chave na representação das interações do projeto.

Nota-se que após o processamento da DSM houve um reordenamento na seqüência de realização de atividades que diminuiu o número de iterações do projeto, o que pode ser visualizado pelo número de marcações acima da diagonal principal na comparação das figuras 29 e 31. Também, observando-se a DSM após o processamento, nota-se o surgimento de dois blocos que necessitam de um processo iterativo de resolução. Estas são as chamadas iterações planejadas do processo e são necessárias ao projeto.

Outro ponto a ser salientado é que se identificam atividades que possuem um alto nível de interações com outras atividades observando, por exemplo, a atividade número 16 da figura 31 (estimativa de pesos). Observando a coluna 16 da figura 31 nota-se que a atividade estimativa de pesos cede informações para diversas atividades. Observa-se também que tal atividade é uma estimativa. Uma das causas de iterações não planejadas é estimativa mal feita. Por isto torna-se primordial que seja dedicado tempo suficiente para que as estimativas estejam o mais próximo possível da realidade. Uma falta de atenção nestes estudos pode significar a repetição de praticamente todas as atividades de projeto, promovendo grandes atrasos em relação ao cronograma estipulado. Outro exemplo é a definição das linhas de casco, que também tem um grande impacto no projeto e que já é observado na prática. Por isso, as atividades de verificação do casco devem ser, sempre que possível, adiantadas em relação ao processo para que não se descubram erros tardiamente e haja repetições desnecessárias no processo. Nestes pontos, atividades gerenciais como o controle de qualidade e a identificação de riscos têm um grande papel para evitar iterações não planejadas no processo.

Uma maneira simples de verificar o impacto de alterações de peso é forçar uma realimentação da estimativa de pesos proveniente do controle de pesos conforme ilustra a figura 32, na célula (12,31) marcada em amarelo. Este é o caso no qual, após a execução da atividade de controle de pesos, verifica-se que o peso calculado está em desacordo com as margens de segurança do projeto do peso estimado. Isto requer uma realimentação da estimativa de peso. O resultado está mostrado na figura 33. O quadro em azul representa um bloco iterativo e todas as atividades contidas nele e após o quadro deverão ser reavaliadas. Nota-se que o impacto é muito grande e ressalta a importância da atividade estimativa de peso. Salienta-se, no entanto, que tal procedimento acelera a convergência do processo. Não significa que não haverá realimentações no processo. Dependendo do projeto e do seu nível de conhecimento pode haver mais de uma realimentação, seguindo o conceito de espiral de projeto.



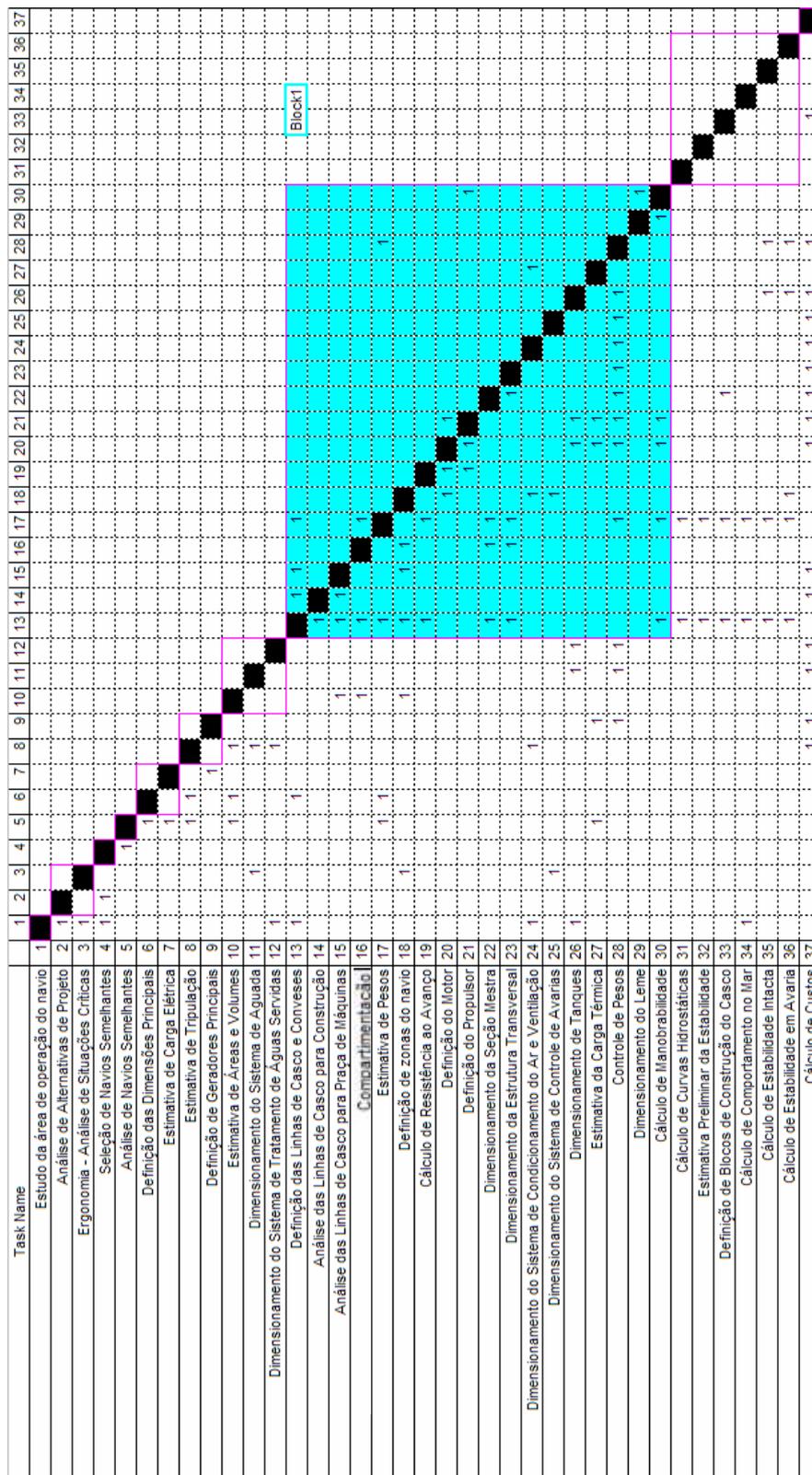


Figura 33 – Análise do impacto de estimativa de peso mal feita: DSM após o processamento.

Um outro exemplo a ser observado é a colocação de uma atividade de estimativa preliminar de estabilidade e comportamento no mar com base na estimativa de pesos. Isto detectará possíveis problemas com o casco reduzindo o risco de iterações grandes no projeto. A figura 34 ilustra nas células em amarelo - (6,31) e (6,32) - a iteração que ocorreria caso sejam constatados problemas de estabilidade e de comportamento no mar. O comportamento no mar está dependente do controle de pesos conforme ilustra a célula (31,30).

Task Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
Análise de Alternativas de Projeto	1																																						
Estudo da área de operação do navio		1																																					
Seleção de Navios Semelhantes			1																																				
Análise de Navios Semelhantes				1																																			
Definição das Dimensões Principais					1																																		
Definição das Linhas de Casco e Conveses						1																																	
Análise das Linhas de Casco para Construção							1																																
Análise das Linhas de Casco para Peças de Iláquinas								1																															
Estimativa de Áreas e Volumes									1																														
Estimativa de Tripulação										1																													
Estimativa da Curva de Comprimento Alagável											1																												
Estimativa de Pesos												1																											
Cálculo de Curvas Hidrostáticas													1																										
Ergonomia - Análise de Situações Críticas														1																									
Definição de zonas do navio															1																								
Definição de zonas do navio																1																							
Definição do Itinerário																	1																						
Definição do Propulsor																		1																					
Definição da Seção Illestra																			1																				
Dimensionamento da Estrutura Transversal																				1																			
Definição de Blocos de Construção do Casco																					1																		
Dimensionamento do Sistema de Condicionamento do Ar e Ventilação																						1																	
Dimensionamento do Sistema de Controle de Avarias																							1																
Dimensionamento do Sistema de Tratamento de Águas Servidas																								1															
Dimensionamento do Sistema de Tratamento de Águas Servidas																									1														
Dimensionamento de Tanques																										1													
Estimativa da Carga Térmica																											1												
Estimativa de Carga Elétrica																												1											
Definição de Geradores Principais																													1										
Controle de Pesos																														1									
Cálculo de Comportamento no Mar																															1								
Cálculo de Estabilidade Inicial																																1							
Cálculo de Estabilidade em Avaria																																	1						
Dimensionamento do Leme																																		1					
Cálculo de Manobrabilidade																																			1				
Cálculo de Custos																																				1			

Figura 34 – DSM sem processamento e sem estimativa preliminar de estabilidade e atividade de comportamento no mar dependendo do controle de pesos.

Após o processamento da DSM, nota-se na figura 35 que há um grande bloco iterativo em azul, o que significa que um grande número de atividades devem ser revistas devido a problemas de estabilidade e comportamento no mar. Isto porque estas duas atividades são dependentes das linhas de casco e uma das soluções para os problemas é a alteração da forma de casco. Como a forma do casco tem um grande impacto no projeto, conforme visto anteriormente, isto obriga a revisão de várias atividades.

No entanto, pode-se reduzir tais problemas colocando-se uma atividade de estimativa preliminar de estabilidade e a atividade de comportamento no mar dependente da estimativa de pesos. A figura 36 ilustra tal situação e nota-se a redução do bloco iterativo em azul. Tal fato faz com que possíveis problemas sejam detectados logo no início do projeto e reduz o risco de grandes iterações.

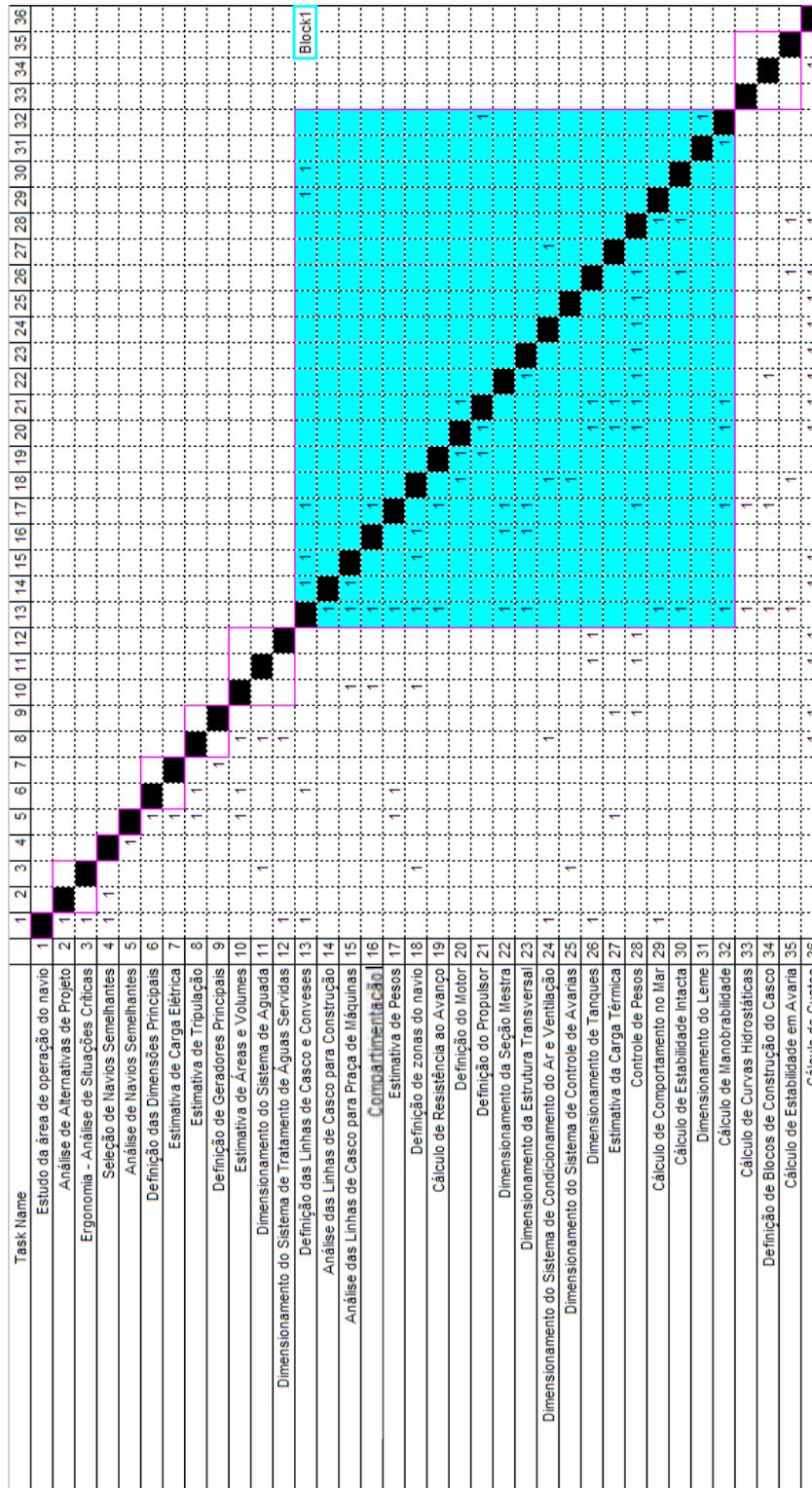


Figura 35 – Análise do impacto de problemas de estabilidade e comportamento no mar: DSM após o processamento.

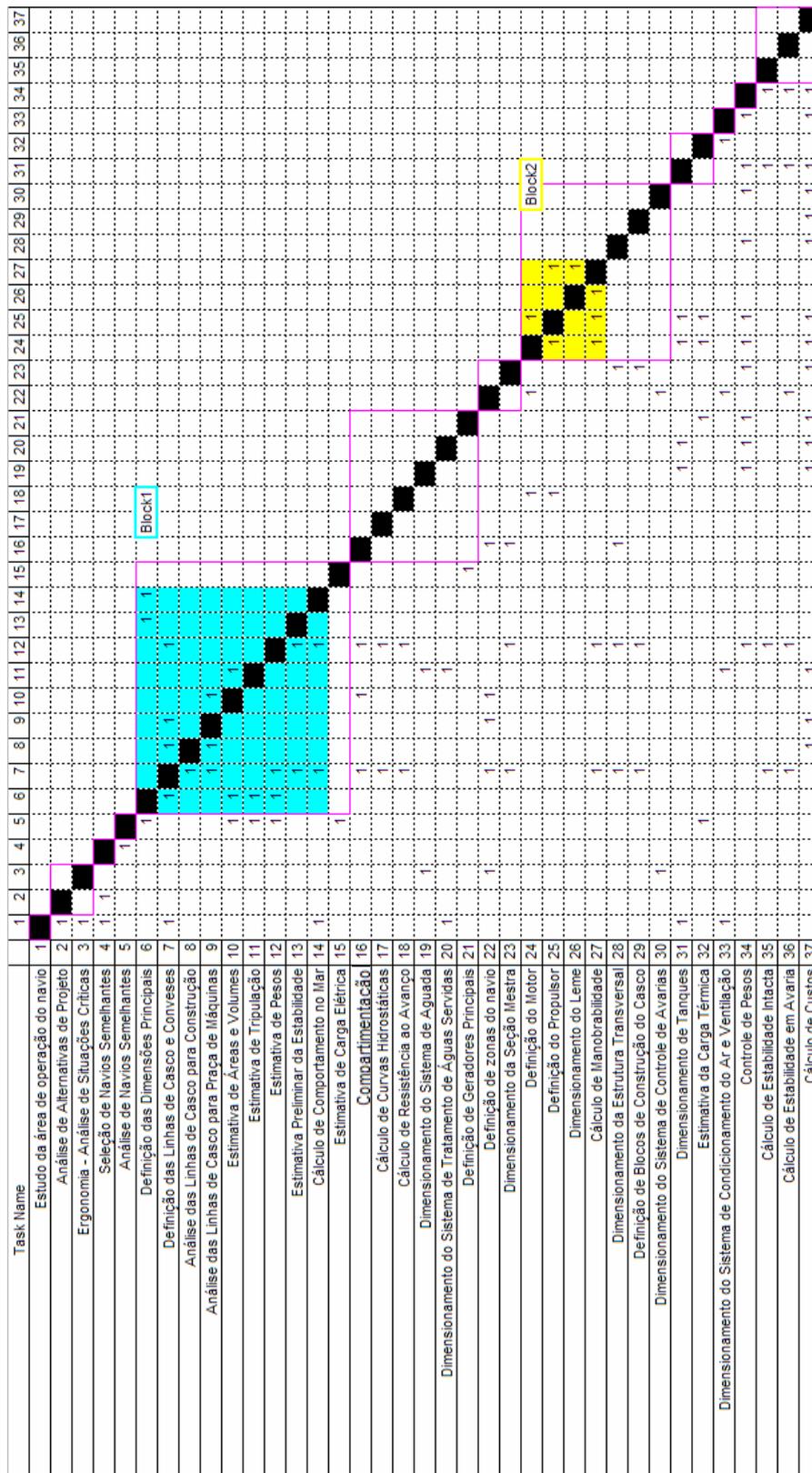


Figura 36 – Inserção de estimativa preliminar de estabilidade e comportamento no mar dependendo da estimativa de pesos: DSM após o processamento.

Outro tipo de análise que pode ser feita é quanto à execução de atividades de forma paralela para acelerar o projeto. Pela figura 37 nota-se na segunda coluna, ao lado das atividades, 15 níveis, alternando as cores em branco e rosa. Cada nível representa um conjunto de atividades que podem ser executadas paralelamente ou necessitam de uma abordagem iterativa, quando há um bloco marcado no interior da DSM. Nota-se que as atividades 2 e 3 podem ser executadas paralelamente pelo fato de uma não depender da outra. O mesmo ocorre no nível 9, desde a atividade 17 até a 21. O nível 8, no entanto, necessita de uma abordagem iterativa, conforme mostra o bloco em azul.

Tal análise facilita estabelecer um cronograma de execução de uma forma apropriada, respeitando-se as dependências das atividades. Também facilita a análise de blocos iterativos. Conforme visto, uma das maneiras de acelerar processos iterativos é a adoção de sistemas informatizados. Portanto, dependendo do escritório, pode ser vantajoso adquirir softwares para a execução de certos trabalhos. Existem softwares que executam diversas das atividades mencionadas com diferentes preços. A DSM ajuda o gerente de projeto quanto a verificação da necessidade de aquisição de tais softwares.

Nota-se também que determinadas atividades são complicadas e demoradas de se executar e possuem grande importância no projeto, como o cálculo e controle de pesos, conforme mostrado anteriormente. Tal atividade pode ser decomposta em diversos itens, como estrutura, máquinas, etc. Um grupo de projetistas de cálculo de pesos pode ser criado para acelerar a execução desta atividade. Isto é verificado em diversas empresas do setor, onde há um departamento especializado para a execução dessa atividade.

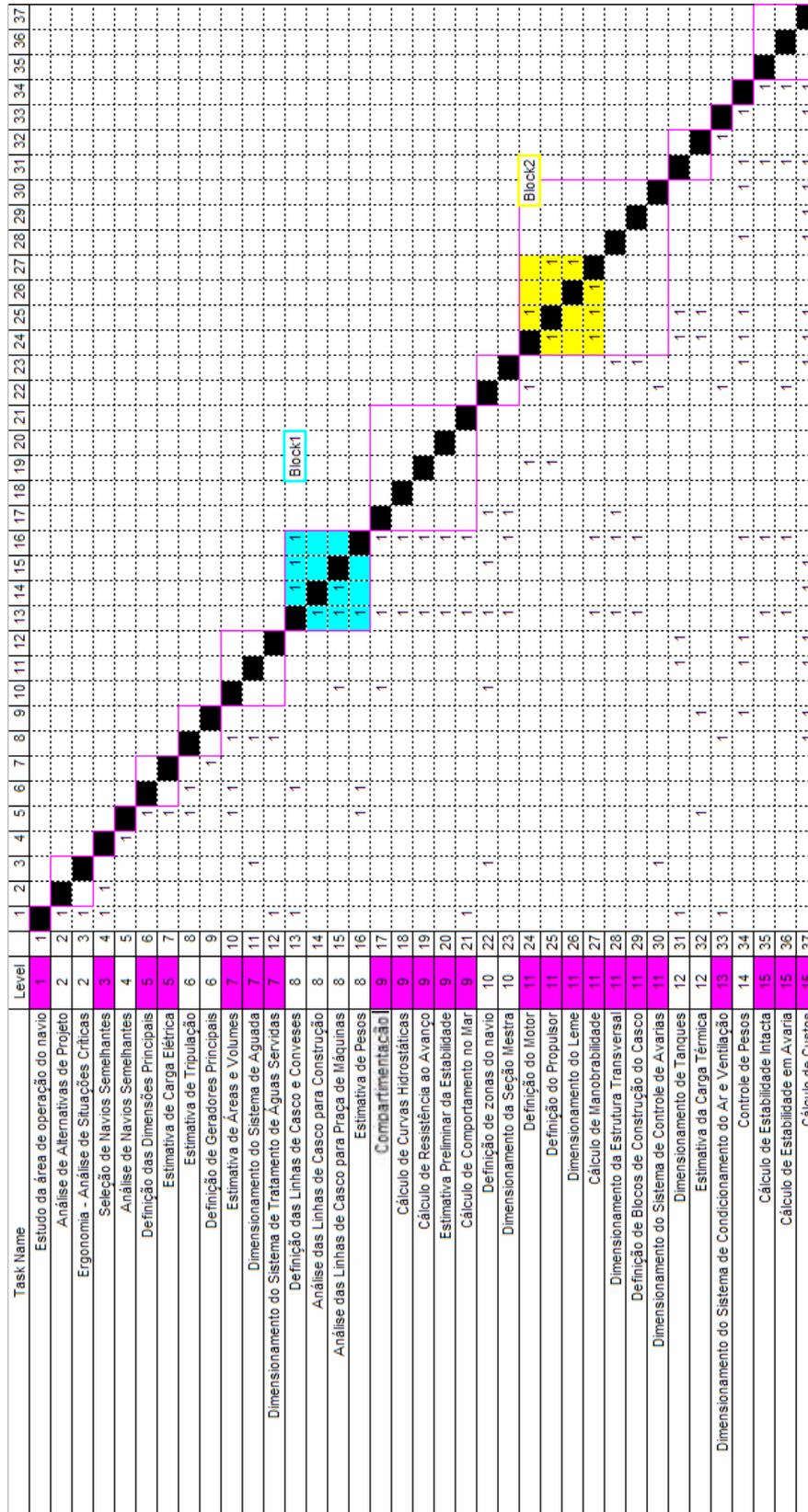


Figura 37 – Análise de DSM processada mostrando níveis de paralelismo e blocos iterativos.

Quanto ao planejamento organizacional e da comunicação, a DSM identifica grupos de atividades que devem ser executadas iterativamente. Para a melhoria da comunicação, caso não sejam adquiridos softwares, devem ser agrupados os projetistas que executam as atividades dos blocos iterativos. Um exemplo que pode ser notado é o bloco formado pelas atividades 13 até a atividade 21 ilustrado na figura 38. Há softwares que realizam estas atividades. O gerente pode decidir pela compra do software ou pelo reagrupamento dos projetistas.

Após a análise das atividades, devem-se inserir atividades gerenciais para o controle da execução do projeto. Logicamente, atividades de controle como o controle de qualidade, de riscos e de integração devem ser executadas concomitantemente com o projeto. No entanto, há algumas atividades que devem ser executadas tendo em vista o escopo do projeto, os prazos e os custos. Um exemplo é a execução da atividade controle gerencial marcada em vermelho e de número 22 ilustrada na figura 38. Esta atividade estabelece um ponto que o gerente de projeto deve tomar decisões quanto ao prosseguimento do projeto ou repetição das atividades 13 a 21. Nota-se que a definição de casco depende das atividades 17 a 21. No entanto, esta dependência refere-se a melhorias do casco para otimização das características hidrostáticas, da resistência ao avanço, da estabilidade, do comportamento no mar do navio a ser projetado. Esta decisão dependerá do atendimento de requisitos, prazos para entrega do projeto, custos, confiabilidade desejada, entre outras.

Após a série de análises o processo ganha uma forma básica como ilustrado na figura 37. Tal modelo facilita o estabelecimento do Planejamento das Comunicações, do Planejamento Organizacional, da Montagem da Equipe e do Estabelecimento do Cronograma de Projeto, visto que tais atividades dependem do mapeamento das interações. Conforme aponta o PMBOK (2000, p.119), algumas das informações tipicamente necessárias para estabelecer o planejamento organizacional e o das comunicações do projeto são as interfaces organizacionais, interfaces técnicas e interfaces interpessoais; a organização do projeto e responsabilidades das partes envolvidas; as disciplinas, departamentos e especialidades envolvidas no projeto; cálculo de quantidade de pessoas envolvidas no projeto; necessidades externas de informações, a urgência da informação entre outras. Tais informações são relativamente fáceis de se retirar de um estudo de interações entre as atividades de projeto. Ressalta-se que o PMBOK (2000, p.69) apenas apresenta ferramentas para

análise de interações por meio de diagramas que, conforme visto, dificulta a análise do processo.

Outro ponto importante a ser notado é que tal modelo também facilita a Segurança das Informações de projeto. Em navios militares, algumas atividades geram dados de saída sigilosos e é possível, por meio do mapeamento das informações, verificar quem está utilizando tais dados e estabelecer-se um planejamento de segurança tanto por meio de softwares como por meio de controle de pessoal (credenciais de segurança).

Por fim, o modelo é a explicitação de um conhecimento processual, tornando-o declarativo. Engenheiros com vasta experiência podem saber com certa profundidade tais interações entre as atividades. No entanto, é pouco provável que um engenheiro sem experiência saiba de tais inter-relacionamentos. Portanto, tal modelo é uma forma de se passar a experiência dos mais antigos para os mais modernos, aprimorando a aprendizagem do processo de projeto dentro da empresa e evitando-se quebra de comunicações.

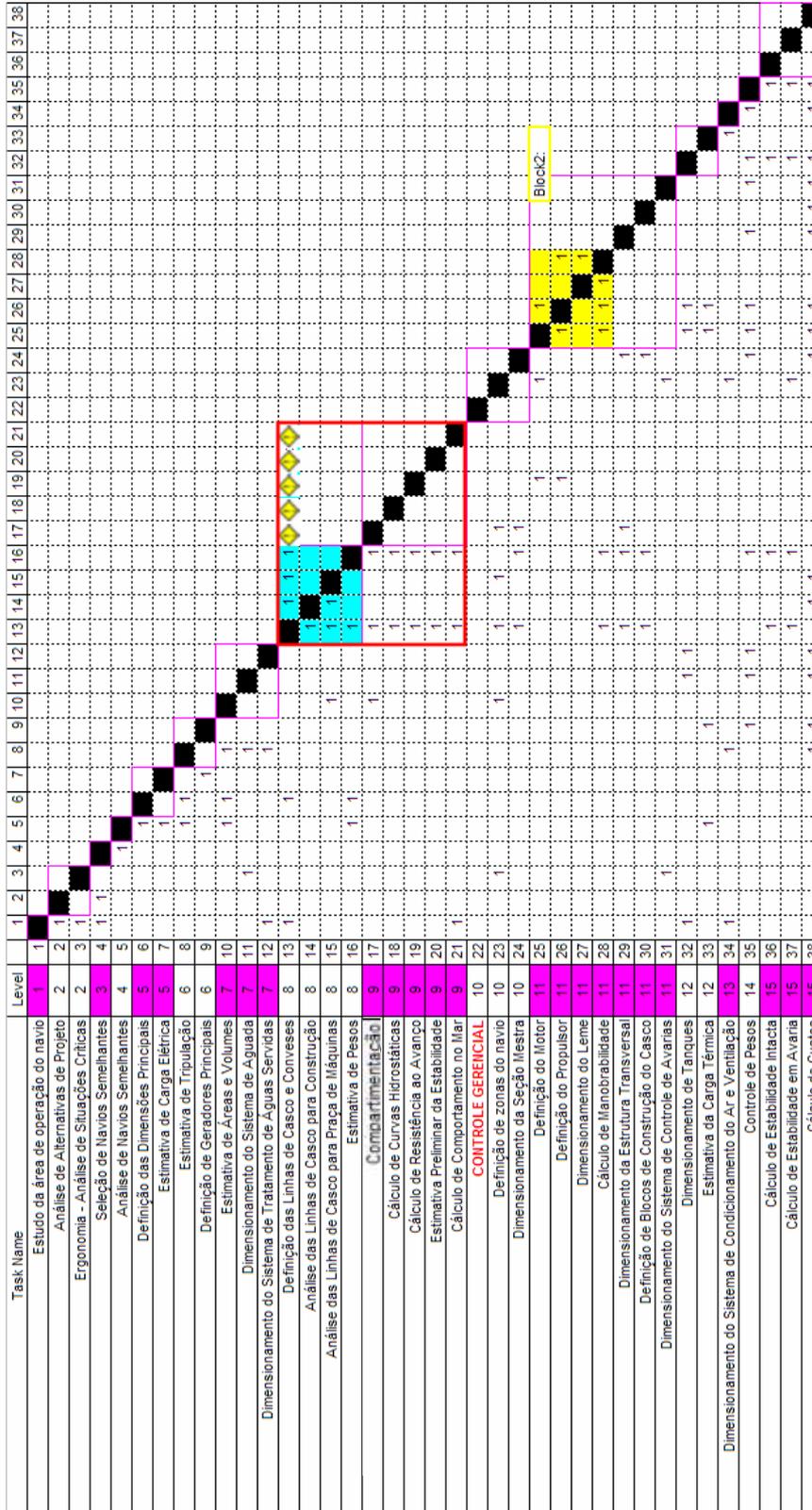


Figura 38 – Análise de DSM processada com controle gerencial.

### **4.3 A análise da Espiral de Projeto de Navios a Partir dos Resultados Obtidos**

Apesar de não ter sido o objetivo principal desta dissertação, após os resultados obtidos encontraram-se subsídios suficientes para analisar a espiral de projeto de navios que tem sido alvo de discussões. Na introdução desta dissertação notou-se que há uma série de divergências a respeito do conceito de espiral de projeto, principalmente com o advento da Engenharia Simultânea e do Gerenciamento de Projetos.

Conforme apresentado anteriormente, alguns autores afirmam utilização da espiral faz com que o tempo do processo de realização do projeto fique longo e a qualidade do projeto decresça tendo em vista que converge para uma única solução que pode não ser a ótima. Outro autor coloca que as duas principais restrições da espiral de projeto são que o processo é colocado como seqüencial e a oportunidade de se incluir considerações a respeito do ciclo de vida do navio é limitada. Estes autores questionam a espiral de projeto em face do advento dos conceitos da Engenharia Simultânea. Ainda, há autores que afirmam que a organização do processo por meio da espiral de projeto mostrou-se problemático devido à tendência de "departamentalização", tornando o trabalho lento e burocratizado e defendem o uso dos conceitos de gerenciamento de projeto. No entanto, há autores que dizem que sempre houve um certo grau de paralelismo na execução de atividades mesmo com a utilização da espiral de projetos e modelos semelhantes à espiral são utilizados em outras áreas de conhecimento.

O primeiro ponto a ser observado é que a espiral de projeto coloca como itens sistemas (ex. arranjo geral, sistema propulsor, sistemas auxiliares) e algumas atividades (ex. cálculo das dimensões principais, estabilidade, comportamento no mar) (figura 39 – espiral de projeto de navios). Tal fato implica em uma simplificação acentuada do processo que dá margem a interpretações errôneas de linearidade do processo. Quando se desmembram todos os elementos colocados na espiral em atividades necessárias para que sejam executados os dimensionamentos e cálculos necessários, nota-se uma grande complexidade do processo e um grande número de interações entre tais atividades. Tal fato pode ser visualizado na figura 39. O diagrama mostrado embaixo da espiral representa as atividades necessárias para a execução da primeira volta na espiral. Este desmembramento é comumente utilizado em



Seja qual for a metodologia ou modelo utilizado para representar o projeto de navios, quando se desmembrar em atividades necessárias para a execução do projeto sempre se recairá em um modelo semelhante ao mostrado pelo diagrama de precedência de atividades ou pela própria matriz mostrada nos itens anteriores. Nota-se que sempre haverá uma certa seqüencialidade de execução de atividades, iterações e uma série de atividades que podem ser executadas em paralelo.

Tal fato está em consonância com o que Lamb (1997) coloca que houve sempre um certo grau de paralelismo na execução das atividades de projeto e com o que Laverghetta (1998, p.58) afirma:

O processo é mais bem descrito como quase-linear. A progressão de atividades normalmente procede-se de uma forma controlada, seqüencial. Contudo, todas as disciplinas de projeto envolvidas na espiral dependem de dados de entrada de outras disciplinas e fornecem dados para quase todas outras disciplinas do projeto. Devido a isso, engenheiros e projetistas devem ter acesso às informações (atualizadas ou estimadas) de cada disciplina e devem estar atentos a potenciais retroalimentações devido a mudanças causadas por dados de saída de suas disciplinas. Como resultado dessas interações, a espiral de projeto é na verdade uma malha interativa unindo as diversas disciplinas por relacionamentos físicos e fluxos de informação.

No entanto, discorda-se que a utilização da espiral faz com que o tempo do processo de realização do projeto fique longo. Tal afirmação foi feita no sentido de defender o uso da Engenharia Simultânea. No entanto, a Engenharia Simultânea e a espiral de projeto não são conceitos excludentes e sim complementares. Conforme exposto, a primeira volta na espiral é composta de uma série de atividades com uma série de interações. A utilização dos conceitos de Engenharia Simultânea faz com que o desenvolvimento das atividades seja mais rápido. Devem-se analisar as atividades que podem ser realizadas em paralelo e investigar aquelas atividades seqüenciais que permitem um certo grau de sobreposição. Isto resultará em uma volta mais rápida na espiral. Portanto, o uso dos conceitos da Engenharia Simultânea não exclui o uso da espiral de projeto.

Também se discorda que a utilização da espiral de projeto faça com que a qualidade do projeto diminua tendo em vista que converge para uma única solução que pode não ser a ótima. O fato é que mesmo quando se testam várias alternativas, o processo mostrado deverá ser seguido. O que ocorre é que o processo é repetido várias vezes. O processo pode inclusive estar oculto dentro de um programa de computador, mas ainda está lá. Portanto, para que se possam testar várias alternativas deve-se melhorar o processo, conforme mostrado nesta dissertação, inclusive considerando a

automatização do maior número possível de atividades para diminuir o tempo de execução destas atividades. Também, conforme mostrado, o uso intensivo de base de dados melhora as estimativas iniciais e diminuem o número de iterações do processo. Contudo, após definir qual é a melhor alternativa, continua-se seguindo a espiral para um maior detalhamento do projeto.

Também não é verdade que o uso da espiral limita a inclusão de considerações a respeito do ciclo de vida do navio. Conforme foi mostrado nesta dissertação, atividades relacionadas com a política de construção, com a ergonomia e com o apoio logístico integrado, que representam atividades relacionadas ao ciclo de vida de um navio, podem e devem ser consideradas durante a execução do projeto e a espiral não impede a inclusão destas atividades.

Por fim, o gerenciamento do projeto também não exclui a espiral de projeto e sim a complementa. Conforme visto há os processos orientados ao produto, que podem ser representados pela espiral de projeto, e os processos orientados à gerência, que podem se representados por metodologias de gerenciamento do projeto. Ambos devem ser executados durante um projeto.

Do que foi exposto, nota-se que a colocação de itens de um projeto na espiral dá margem a interpretações errôneas do processo. Contudo, a espiral representa duas características importantes do projeto: o detalhamento progressivo do projeto e a iteratividade do processo. Tais características foram explicadas ao longo da dissertação.

Portanto, sugere-se uma alteração na representação da espiral para evitar interpretações imprecisas do processo. A sugestão é dada na figura 40.

A mudança de foco resolve uma série de problemas de interpretação. Em vez de se colocarem itens ou sistemas na espiral, colocam-se os processos básicos de um projeto, ou seja, o planejamento, a execução, o controle e a avaliação. É fato que o planejamento e a execução do projeto e a avaliação do subproduto obtido são realizados seqüencialmente. Pode haver até um certo grau de sobreposição na realização destes processos, porém, em sua essência, são seqüenciais. O controle interage com todos estes processos durante o projeto. Portanto ele está fora da espiral e participa do projeto durante todo o tempo. A espiral de projeto mostra que o projeto é elaborado progressivamente, por fases.

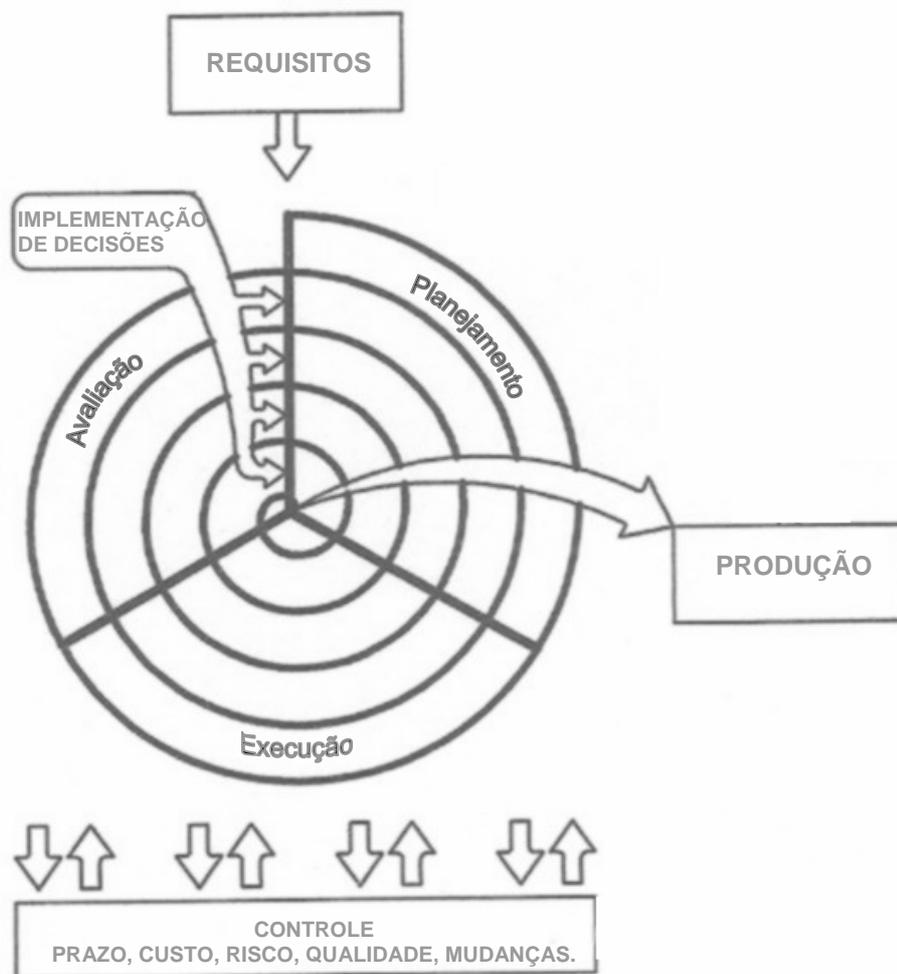


Figura 40 – Sugestão para representação do projeto de navios.

O início do projeto é marcado pelo recebimento dos requisitos do armador. A partir destes requisitos é feito o planejamento da execução do projeto. Um modelo de planejamento que pode ser adotado é o apresentado nessa dissertação. Este planejamento é a primeira fase do projeto.

O primeiro ponto a se ressaltar é que o planejamento faz parte da espiral de projeto. Cada volta na espiral de projeto tem suas atividades próprias. À medida que se aprofunda no projeto, surgem novos condicionantes derivados das escolhas feitas no projeto inicial. Conseqüentemente, é necessária a execução de novas atividades, tanto para abordagem destes novos condicionantes como daquelas relacionadas ao maior detalhamento do projeto. Portanto, a cada volta na espiral, um novo planejamento deve ser executado.

Cada volta na espiral representa uma fase. Quando se testam várias alternativas, há várias voltas na espiral na mesma fase. Mesmo quando está se testando várias alternativas, o planejamento deverá ser realizado. Após executar a primeira alternativa de projeto e o gerente decidir por testar uma nova alternativa, novamente deverá ser feito o planejamento para a execução de uma nova alternativa. A principal diferença entre a primeira volta e a segunda é que o planejamento da segunda será mais rápido, porém ele existirá, por exemplo, definindo novas atividades, no caso de um maior aprofundamento de investigação em determinado sistema, e novos cronogramas.

Os conceitos da Engenharia Simultânea atuarão, conforme visto anteriormente, na definição das atividades e no seqüenciamento de tarefas e isto faz com que haja um impacto nas demais atividades de planejamento. Conhecimentos provenientes da construção, manutenção e operação dos navios, da teoria e pesquisa do projeto de navios e do conhecimento de projetos anteriores alimentarão o processo de planejamento do projeto, definindo novas atividades a serem abordadas e permitindo um seqüenciamento aprimorado de execução das atividades.

A partir do planejamento, executa-se o projeto, seguindo-se a seqüência de atividades determinada pelo planejamento. Conforme visto nesta dissertação, haverá uma série de atividades que serão executadas seqüencialmente, paralelamente e aquelas que necessitam de um processo iterativo de solução mesmo na primeira volta da espiral.

Durante a fase de execução, deverá haver o controle do projeto a fim de verificar se o projeto está de acordo com o cronograma estabelecido, se os objetivos (condicionantes do projeto) estão sendo satisfeitos, se o projeto está cumprindo os padrões de qualidade estabelecidos, se os riscos envolvidos no projeto e detectados anteriormente estão dentro das expectativas bem como controlar mudanças no projeto. Além disso, deverá verificar se as comunicações entre os integrantes da equipe está ocorrendo de acordo com o estipulado. O controle tomará decisões cada vez que a execução do projeto não estabelecer o que foi especificado pelo planejamento, realimentando o planejamento com novos conhecimentos.

A avaliação do projeto tem por objetivo verificar se o produto (o resultado de cada volta na espiral) atingiu os objetivos determinados e verificar se há possibilidade de melhoria do projeto e definir novas atividades para esta melhoria. É uma etapa de tomada de decisão para definir se o projeto deve prosseguir em seu detalhamento ou

se deve ser feito de acordo com prazos estipulados. Em qualquer um dos casos deve ser feito um novo planejamento, conforme explicado anteriormente.

Esta sugestão de representação do projeto de navios integra os conceitos da Engenharia Simultânea e do Gerenciamento de Projeto com os conceitos da espiral de projeto, mostrando que tais conceitos devem ser utilizados concomitantemente.

## 5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Esta dissertação, em resumo, seguiu a seqüência estipulada na figura 41 e abordou as atividades de planejamento do projeto marcadas em azul, com grande ênfase no seqüenciamento de atividades.

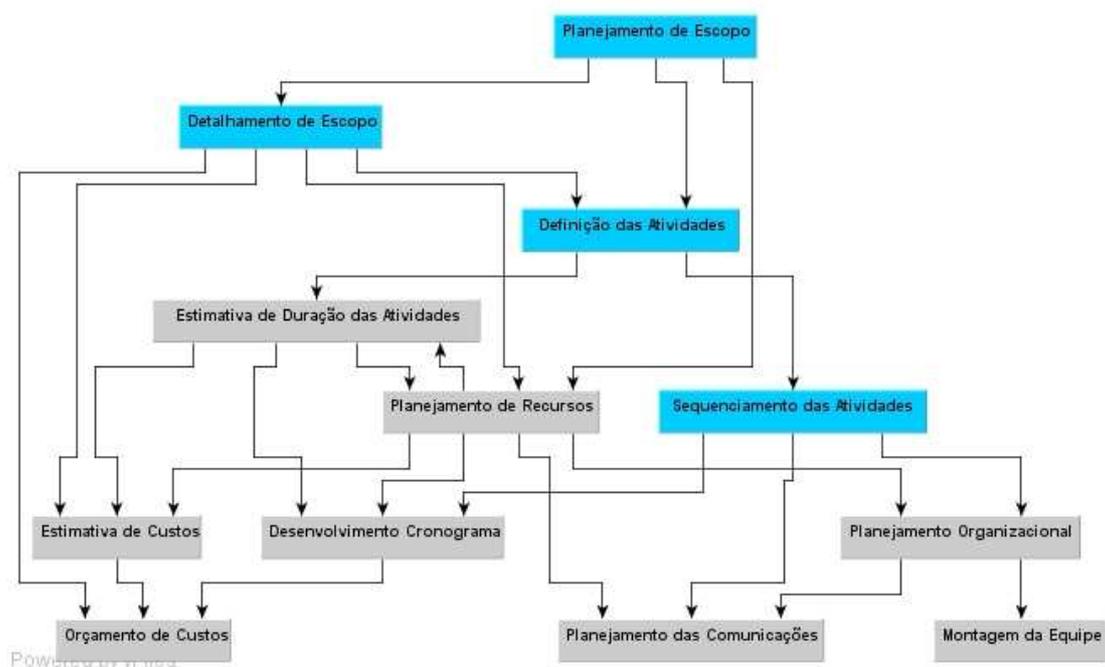


Figura 41 – Atividades de planejamento executadas nesta dissertação.

O planejamento do escopo e detalhamento do escopo foram feitos baseando-se em um navio genérico. Tal navio possui os requisitos mínimos geralmente estipulados para um navio, como velocidade, raio de ação, autonomia, entre outros. A definição de

atividades do projeto foi feita baseando-se em quais são as atividades necessárias para que fossem atendidos tais requisitos mínimos do projeto bem como alguns requisitos visando à produção, manutenção e operação do navio com a finalidade de exemplificar a integração dos conceitos da engenharia simultânea ao processo. Por fim, de posse das atividades de projeto, fez-se o mapeamento das interações entre estas atividades e processou-se a DSM com o intuito de estabelecer uma seqüência de realização do projeto e analisarem-se as interações.

## 5.1 Conclusões

O objetivo desta dissertação foi estudar e explorar o método DSM para o projeto de navios. Com base nos resultados apresentados chegaram-se às seguintes conclusões:

### **O mapeamento e análise das interações e o seqüenciamento de atividades por meio da DSM aprimoram a organização do processo.**

Conforme visto, o mapeamento e análise de interações e o seqüenciamento de atividades por meio da DSM permite:

1. Obter uma visualização detalhada e simplificada do processo representando simultaneamente a seqüência de realização de atividades, as interações entre as atividades e os processos iterativos (figura 31 e primeiro parágrafo da página 94);
2. Retirar do processo iterações não planejadas por meio do reordenamento de execução de atividades (figuras 29 e 31 e segundo parágrafo da página 94);
3. Identificar atividades que possuem alto nível de dependência com as demais atividades permitindo estabelecer-se controles de qualidade e de risco ao processo (figura 31 e terceiro parágrafo da página 94);
4. Auxiliar na análise do impacto de retroalimentações no processo visualizando-se claramente as atividades que deverão ser revistas (páginas 95 a 101);
5. Facilitar a visualização de tarefas que podem ser executadas paralelamente e aquelas que devem ser executadas seqüencialmente auxiliando na elaboração do cronograma de projeto (página 102 e figura 37);

6. Identificar grupos de atividades que necessitam de um processo iterativo de solução. Este ponto facilita o gerente de projeto na reorganização da equipe, no estabelecimento de pontos de controle para custos, prazos e garantia de qualidade e na decisão pela compra de softwares (página 104 e figura 38);
7. Facilitar o estabelecimento do Plano de Comunicações de projeto, algo de muita importância, pois, conforme visto, 80% das falhas de projeto são devidas à quebra de comunicação (terceiro parágrafo da página 104);
8. Facilitar o Planejamento da Organização (terceiro parágrafo da página 104);
9. Auxiliar na segurança da informação identificando-se atividades que geram dados sigilosos e as atividades dependentes daquelas (página 105);
10. Auxiliar no processo de aprendizagem vinculado a projetos de navios, facilitando o aprendizado de engenheiros com menos experiência (página 105).

Uma observação que deve ser feita é que as atividades listadas nesta dissertação estão em sua forma mais básica possível. No entanto, há softwares que realizam até grupos de atividades de uma só vez. Cada empresa possui softwares e recursos diferentes e, portanto, devem listar as atividades realizadas, mapear a entrada e saída de cada atividade e analisar as interações. A empresa, dependendo dos seus objetivos, poderá verificar a necessidade de aquisição de recursos (humanos, equipamentos, software) para aprimorar a sua metodologia de projeto, tendo em vista otimizar a qualidade, rapidez, custo, confiabilidade e flexibilidade de seus processos. Portanto, cada empresa deverá projetar seus processos de acordo com os objetivos estratégicos da empresa, seus recursos disponíveis e perseguindo os objetivos de desempenho do projeto: rapidez, qualidade, custo, confiabilidade e flexibilidade.

Resumindo os resultados apresentados nesta dissertação, estudos de Política de Construção, de Apoio Logístico Integrado, de Ergonomia aumentam a qualidade do projeto. A análise do sequenciamento de atividades, realização paralela de atividades e adoção de base de dados aumentam a rapidez do projeto, diminuem custos e aprimoram a qualidade e confiabilidade do projeto. O reordenamento de atividades diminuirá os processos iterativos, restando apenas aqueles necessários ao projeto, aumentando a rapidez, confiabilidade e qualidade do projeto. A utilização de base de dados permitirá uma melhor estimativa de parâmetros para a execução das atividades, afetando diretamente a qualidade, rapidez, custo e confiabilidade do processo. Um

processo mais rápido permitirá testar mais de uma alternativa de projeto, melhorando a qualidade. O estabelecimento de um gerenciamento de projetos adequado melhora praticamente todos os objetivos de desempenho.

### **A DSM é um método eficaz para o mapeamento e análise de interações**

A DSM provou ser um método eficaz para análise das interações das atividades de projeto. A representação das interações por meio de matriz tem uma grande vantagem sobre a representação por meio de diagramas ou grafos. O PMBOK somente aponta ferramentas baseadas em diagramas para análise de interações. No entanto, a análise do processo por meio de diagramas ou grafos prejudica a visualização do projeto e dificulta a manipulação dos dados, principalmente quando o número de atividades a ser analisado é grande. Tal fato pode ser visualizado comparando o diagrama de precedência da figura 30 e a DSM da figura 31 (páginas 91 e 92 respectivamente). Além disso, a representação matricial permite uma maior manipulação dos dados, inclusive por algoritmos, permitindo uma análise mais aprofundada do projeto conforme mostrado nos itens anteriores.

No entanto notou-se que para obter bons resultados na DSM deve-se fazer o desmembramento detalhado do projeto em atividades. Quando utiliza-se apenas itens ao nível de sistemas, tem-se grandes blocos iterativos. Isto é de se esperar, visto que praticamente todos os sistemas interagem com os demais sistemas. Além disso, deve-se respeitar o detalhamento progressivo do projeto. Por exemplo, em fases iniciais de projeto a estrutura não depende dos sistemas elétricos. No entanto, em fases mais avançadas de projeto, tal dependência é notada, devido ao cabeamento do sistema elétrico interagir fisicamente com a estrutura. Portanto, na análise inicial da DSM não se deve marcar tal dependência, pois esta dependência não existe devido à elaboração progressiva do projeto.

### **Conclusões a respeito da análise da espiral de projeto**

A partir do mapeamento, da análise e do sequenciamento de atividades que permitiu a elaboração de um processo inicial para o projeto pôde-se chegar a algumas conclusões que não eram o objetivo inicial deste trabalho.

A primeira delas é que o conceito da espiral de projeto é válido, no entanto necessita de algumas alterações de representação. Conforme mostrado anteriormente, a espiral apresenta duas características importantes do projeto: a iteratividade e a elaboração

progressiva do projeto. No entanto, a colocação de itens de projeto como sistemas (arranjo geral) e atividades (ex. cálculo de estabilidade) para que sejam executados ao longo da espiral dá margem a interpretações de linearidade do processo, o que não é o caso. Portanto, a alteração de representação da espiral de projeto conforme sugerida na figura 40 da página 109 encerra esta interpretação de linearidade e aproveita as características de projeto representadas pela espiral.

Outra conclusão é que a espiral de projeto, a engenharia simultânea e o gerenciamento de projetos são conceitos que devem ser utilizados concomitantemente. O conceito da espiral de projeto não é incompatível com os princípios de gerenciamento de projeto nem com os princípios da engenharia simultânea (páginas 109 e 110).

Verificando-se as atividades necessárias para uma primeira volta na espiral nota-se que há diversas atividades que podem ser executadas de forma paralela e planejada. Alguns dos princípios da engenharia simultânea acelerarão a execução das atividades de projeto e aumentarão a qualidade do projeto. Da mesma forma, os princípios de gerenciamento do projetos estabelecerão os processos necessários para o planejamento, a execução e o controle dessas atividades, conforme visto anteriormente. Portanto, os conceitos da espiral de projeto (elaboração progressiva e iteratividade do projeto), engenharia simultânea e gerenciamento de projetos são conceitos complementares que podem e devem ser utilizados concomitantemente.

## **5.2 Considerações finais**

Com este trabalho mostrou-se a importância do mapeamento e análise das interações e o do seqüenciamento de realização de atividades de um projeto por meio de exemplos de análises que podem ser feitas. Também, procurou-se aprofundar o conhecimento a respeito do projeto de navios, conciliando o Gerenciamento do Projeto, a Engenharia Simultânea e a Teoria de Projeto. Com isto, conseguiu-se estabelecer uma seqüência de realização de atividades de projeto em um nível aprofundado. Esta seqüência de realização de atividades e o mapeamento de interações explicam algumas observações práticas de projeto e algumas divergências conceituais a respeito de pontos do projeto de navios. Apesar de mostrar alguns exemplos de análises que podem ser feitas, permitindo uma série de novas análises e abrindo campo para uma série de pesquisas, este estudo é um primeiro passo para o

estabelecimento de uma metodologia para a organização do processo de projeto de navios.

### **5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros**

Esta dissertação mostrou alguns exemplos de análises e algumas conclusões. No entanto, tal dissertação abre portas para uma série de novas análises e várias pesquisas relacionadas ao projeto de navios.

Uma sugestão de trabalho é verificar o grau de dependência de determinada atividade com relação às demais. A DSM utilizada nesta dissertação não realiza tal tipo de análise, colocando-se somente se há dependência ou não (células marcadas com o número "1" ou células vazias). No entanto, em vez da marcação "1" pode-se utilizar como marcação o grau de dependência (por exemplo, de 1 a 10). Isto permitirá mostrar que há interação entre as atividades (pelo fato da célula não estar vazia) e ao mesmo tempo indicar o grau de dependência entre as atividades (no caso de 1 a 10, sendo 1 baixa dependência e 10, alta dependência). Tal pesquisa pode gerar resultados expressivos para o processo de projeto de navios.

Outra sugestão é que com mapeamento das interações das atividades de projeto permitem-se maiores pesquisas relacionadas ao controle de qualidade e ao gerenciamento de riscos do projeto, identificando-se atividades primordiais ao projeto, além de permitir um maior entrosamento entre atividades orientadas ao produto e atividades orientadas à gerência.

Por fim, seguindo o próprio modelo estabelecido pelo PMBOK e pelas análises e conclusões desta dissertação verifica-se que a partir do mapeamento das interações das atividades de projeto e do estabelecimento de uma seqüência de realização de atividades podem-se realizar pesquisas relacionadas ao planejamento das comunicações e da organização, algo que tem sido realizado em outras áreas de conhecimento. A observação de pesquisas em outras áreas de conhecimentos poderá abrir portas para pesquisas aplicadas à Engenharia Naval e aprimorar o processo de realização de projetos de navios.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, F. A. S. (2002). Projeto Preliminar: Uma Revisão Crítica. *XIX Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore*. SOBENA, Rio de Janeiro.

ANDRADE, L. R. A. (2001). *Modelo de Síntese e Otimização por Múltiplos Critérios para o Projeto Preliminar de Embarcações*. 221 p. Tese (Doutorado em Engenharia Naval). Universidade de São Paulo, São Paulo.

BATALLAS, D. A., YASSINE, A. (2004). Information Leaders in Product Development Organizational Networks: Social Network Analysis of the Design Structure Matrix. *Apresentado em Understanding Complex Systems Symposium*. University of Illinois at Urbana-Champaign.

BENSON, D. (Concurrent Engineering) in DORF, R. C., KUSIAK, A. (1994). *Handbook of Design, Manufacturing and Automation*. John Wiley & Sons.

BLAIR, J. C., RYAN, R. S., SCHUTZENHOFER, L. A., HUMPHRIES, W. R. (2001) - *Launch Vehicle Design Process: Characterization, Technical Integration, and Lessons Learned*. National Aeronautics and Space Administration Technical Publication. NASA/TP—2001—210992. Washington D.C.

BOGOSIAN NETO, S. (2005). *Projeto de Concepção de um Navio Patrulha de Formas Não-Convencionais com Características Submersíveis: Viabilidade e Manobrabilidade*. 410 p. Tese (Doutorado em Engenharia Naval). UFRJ, Rio de Janeiro.

BRÉZILLON, P., NAVEIRO, R. M. (2003). Knowledge and Context in Design for a Collaborative Decision Making. *Journal of Decision Systems*. Vol. 12. n. 3-4. p. 253-270.

BROWNING, T. R. (2001) - Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions. *IEEE Transactions on Engineering Management*. Vol. 48, n.3, p.292-306.

BUCCIARELI, L. (1994). *Designing Engineers*. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts.

CANNON-BOWERS, J. A., SALAS, E., BLICKENSBERGER, E. (1998). The impact of

cross-training and workload on team functioning: a replication and extension of initial findings. *Human Factors*. Vol. 40. n. 1. p.92-101

CHO, S. H. (2001) - *An Integrated Method for Managing Complex Engineering Projects Using the Design Structure Matrix and Advanced Simulation*. Dissertação (Mestrado). Massachusetts Institute of Technology.

CHO, S. H., EPPINGER, S. D. (2005) – A Simulation-Based Process Model for Managing Complex Design Projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*. Vol.52, n.3, p.316-328.

CROSS, N. (1991) - *Engineering Design Methods*. John Wiley & Sons.

CUEVA, M., CUEVA, D., NISHIMOTO, K. (2004). Metodologia de Gerenciamento do Projeto MonoBR. *XX Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore*. SOBENA, Rio de Janeiro.

CUNHA, G. D., BUSS, C. O., DANILEVICZ, A. M. F., ECHEVESTE, M. E. S., KUYVEN, P.S. (2003) A Reference Model to Support Introducing Product Lifecycle Management. In: Parisa Ghodous; Ricardo Jardim Gonçalves; Jianzhong Cha; Adolfo Steiger-Garção. (Org.). *Concurrent Engineering: The vision for the future generation - Enhanced Interoperable Systems*. 1 ed. Lisse, 2003, v. 1, p.519-528.

DENKER, S., STEWARD, D., BROWNING, T. (1999) - Planning Concurrency and Managing Iteration in Projects. *Center for Quality of Management Journal*. Vol. 8, n.2, p.55-62.

EPPINGER, S. D., WHITNEY, D. E., SMITH, R. P., GEBALA, D. A. (1994) - A Model-Based Method for Organizing Tasks in Product Development. *Research in Engineering Design*. Vol. 6, n.1, p.1-13.

EPPINGER, S.D., WHITNEY, D.E., YASSINE, A.A. (2004) - *The Design Structure Matrix – DSM home page*. <<http://www.dsmweb.org>>. Acesso: agosto, 2004.

EVANS, J. H. (1959) - Basic Design Concepts. *Naval Engineers Journal*. Nov., p.671-678.

GUIVARCH, A. D. (2003) - *Concurrent Process Mapping, Organizations, Project and Knowledge Management in Large-Scale Product Development Projects using the Design Structure Matrix Method*. 177 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Políticas e Mestrado em Engenharia Mecânica). Massachusetts Institute of Technology.

HOCKEY, G.R. J., HEALEY, A., CRAWSHAW, M., WASTELL D. G., SAUER J. (2003). Cognitive Demands of Collision Avoidance in Simulated Ship Control . *Human Factors*, Vol. 45, No. 2, p.252-265.

JONES, J. C. (1984). *A Method of Systematic Design*. Developments in Design Methodology. John Wiley & Sons. p. 9-31.

KINGMA, I., DELLEMAN N. J., DIEËN J. H., (2003). The effect of ship accelerations on three-dimensional lowback loading during lifting and pulling activities. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Vol. 32 p.51–63.

KOBUS, D. A., PROCTOR, S., HOLSTE, S. (2001). Effects of experience and uncertainty during dynamic decision making. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Vol. 28. p.275–290

KRISHNAN V., ULRICH K. T. (2001) - Product Development Decisions: A Review of the Literature. *Management Science*. Vol. 47, n.1, p.1–21.

KUSIAK, A. (Concurrent Engineering: Issues, Models, and Solution Approaches) in DORF, R. C., KUSIAK, A. (1994). *Handbook of Design, Manufacturing and Automation*. John Wiley & Sons.

LAMB, T. (1986). *Engineering for Ship Production - Final Report*. University of Michigan Transportation Research Reports. 465p. Ann Arbor, Michigan. Disponível em <<http://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/108>> Acesso: janeiro, 2005.

LAMB, T. (1997) - CE or Not CE – That is The Question. *Proceedings of Ship Production Symposium*, New Orleans, Louisiana.

LAMB, T. (2004) - Ship Design Methods. *Apresentação Australian Branches of RINA and IMAREST em Sydney*.

LAMB, T. (2004b) - Ship Design for Construction. *Apresentação COPPE-UFRJ*.

LAVERGHETTA, T. A. (1998) - *Dynamics of Naval Ship Design: A Systems Approach*. 187 p. Dissertação (Grau de Naval Engineer e M.Sc. in Ocean Systems Management). Massachusetts Institute of Technology.

LEWIS, C. H., GRIFFIN, M. J. (1997). Evaluating the motions of a semi-submersible platform with respect to human response. *Applied Ergonomics*. Vol 28, n. 3, p.193-201.

MAURINI, E. B. (2005). *Análise Metodológica da Gestão de Projetos na Indústria Naval Fluminense*. 158 p. Dissertação (Grau de Mestre em Engenharia de Produção). Universidade Federal Fluminense.

MILES, J., MOORE, C. (1994). *Practical Knowledge-Based Systems in Conceptual Design*. Springer-Verlag. Grã-Bretanha.

MISTREE, F., SMITH, W., BRAS, B., ALLEN, J. MUSTER, D. (1990). Decision-Based Design: A Contemporary Paradigm for Ship Design. *The Society of Naval Architects and Marine Engineers (apresentado no encontro anual)*. San Francisco.

NAIKAR, N., PEARCE, B., DRUMM, D., SANDERSON, P.M. (2003). Designing Teams for First-of-a-Kind, Complex Systems Using the Initial Phases of Cognitive Work Analysis: Case Study. *Human Factors*, Vol. 45, n. 2, p.202-217

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (2001). *Approaches to Improve Engineering Design*. The National Academies Press. Washington D.C.

NAVEIRO R. (Conceitos e Metodologias de Projeto) in NAVEIRO, R., OLIVEIRA, V. (org.) (2001) - *O projeto de engenharia, arquitetura e desenho industrial*. Editora da Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais.

NAVEIRO R., BORGES, M. (1997). Projetação e as formas de representação do projeto. *Graf&Tec*. Vol. 2, n. 1, Editora da UFSC, Florianópolis.

NAVEIRO R., BORGES, M. (2004). (A utilização de ambientes virtuais na gestão do processo de desenvolvimento de produtos) in OLIVEIRA, V. F. et al (org.) (2004) – *Redes Produtivas para o Desenvolvimento Regional*. ABEPRO, Ouro Preto.

PARSONS, M. G., SINGER, D. J., SAUTER, J. A. (1999) - A Hybrid Agent Approach for Set-Based Conceptual Ship Design. *Proceedings 10th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding*, Cambridge, MA.

PERALTA, A. C. (2002). *Um Modelo do Processo de Projeto de Edificações, Baseado na Engenharia Simultânea, em Empresas Construtoras Incorporadoras de Pequeno Porte*. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

PIERONI, E., NAVEIRO, R. (2005). A Design Structure Matrix (DSM) aplicada no Projeto de Navios. *Anais 5º. Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto*. CBGDP. Curitiba.

PMBOK (2000) - *Project Management Body of Knowledge*. Tradução livre. V. 1.0. 159 p. Project Management Institute. Minas Gerais.

PNA (1988). *Principles of Naval Architecture*. Vol. I, II e III. Segunda Edição. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New Jersey.

POMEROL, J. C. (2003). Decision Making Biases and Context. *Journal of Decision Systems*. Vol. 12. n. 3-4. p. 235-252.

RYAN, R., BLAIR, J., TOWNSEND, J., VERDERAIME, V. (1996). *Working on the Boundaries: Philosophies and Practices of the Design Process*. National Aeronautics and Space Administration Technical Paper. NASA/TP—1996—3642. Washington D.C.

RYAN e JONS (1991). Improving the Ship Design, Acquisition e Construction Process. Association of Scientists and Engineers. 28<sup>th</sup>. *Annual Technical Symposium*, p.13.

SAWE – SOCIETY OF ALLIED WEIGHT ENGINEERS (2001). *Weight Estimating and Margin Manual for Marine Vehicles*. Recommended Practice n.14.

SCHAAFSTAL, A., SCHRAAGEN, J. M., BERLO, M. V. (2000). Cognitive Task Analysis and Innovation of Training: The Case of Structured Troubleshooting. *Human Factors*, Vol. 42, n. 1, p.75-86.

SCHACHTER, R. D., BOGOSIAN NETO, S., CASTRO, G.A., FERNANDES, A. C., JORDANI, C. G. (2005). The Solution-Focused Design Process Organization Approach Applied to Offshore Platforms Design. *Proceedings of OMAE2005-67171*. Grécia.

SLACK, N., CHAMBERS, S., JOHNSTON, R. (2002). *Administração da Produção*. Tradução Maria C. Oliveira e Fábio Alher. 2. ed. São Paulo: Atlas.

SMITH, R. P., EPPINGER, S. D. (1997). Identifying Controlling Features of Engineering Design Iteration. *Management Science*. Vol. 43, n.3, p.276-293.

SOSA, M., EPPINGER, S. D., ROWLES, C. M. (2004). The Misalignment of Product Architecture and Organizational Structure in Complex Product Development. *Management Science*. Vol. 50, n.12, p.1674-1690.

STEVENS S. C., PARSONS M. G. (2002). Effects of Motion at Sea on Crew Performance: A Survey. *Marine Technology*, Vol. 39, No. 1, p.29-47.

STEWART, D. V. (1981) - The Design Structure Matrix: A Method for Managing the Design of Complex Systems. *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-28, n.3, p.71-74

THIOLLENT, M., FEITOSA, V. C. (2004). Projeto de Pesquisa e Comunicação Científica. Material didático da disciplina de Projeto de Pesquisa e Comunicação Científica – COP762. COPPE-UFRJ.

ULRICH, K. T., EPPINGER, S. D. (2004) - *Product Design and Development*. McGraw-Hill. 3ª. Edição. New York.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (2002). Plano de Pesquisas para Elaboração de Projeto de um Novo Navio Oceanográfico. *Homepage do Laboratório de Design e Tecnologia das Embarcações e seus Sistemas de Apoio Operacional*. Disponível em <<http://www.usp.br/fau/deprojeto/labnav/indexjsp.htm>>. Acesso: setembro, 2004.

YASSINE, A., BRAHA, D. (2003) - Concurrent Engineering and the Design Structure Matrix. *Concurrent Engineering Research and Applications*. Vol.11, n.3, p.165-176.

YASSINE, A., WHITNEY, D., DALEIDEN, S., LAVINE, J. (2003). Connectivity maps: modeling and analysing relationships in product development processes. *Journal of Engineering Design*. Vol. 14, n. 3, p.377-394.

ZANGWILL, W. I. (1992). Concurrent Engineering: Concepts and Implementation. *IEEE Engineering Management Review*. Vol.20, n.4, p.40-52.