

DANIEL DRUMOND CAMPOS E SILVA

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA
TRANSFERÊNCIA PRECOCE DE
INFORMAÇÃO NO TEMPO E NO CUSTO DE
DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS**

**Escola de Engenharia – Departamento de Engenharia de Produção
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte – Minas Gerais
2010**

DANIEL DRUMOND CAMPOS E SILVA

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA
TRANSFERÊNCIA PRECOCE DE
INFORMAÇÃO NO TEMPO E NO CUSTO DE
DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Produção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Linha de Pesquisa: **Modelagem Estocástica e Simulação**

Orientador: **Prof. Leonardo Pereira Santiago – Departamento de Engenharia de Produção – UFMG –**

**Escola de Engenharia – Departamento de Engenharia de Produção
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte – Minas Gerais
2010**

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Rogério, pelo incentivo, pela confiança depositada em mim e por estar sempre presente em todos os momentos de minha vida. Seus conselhos foram e são fundamentais para mim.

À minha mãe, Lucy, pelo amor, carinho, paciência e cuidado que teve comigo durante todos esses anos, em especial pelos anos que estive envolvido com este trabalho.

Agradecimentos

A Deus, por iluminar minha vida.

Ao professor Leonardo Pereira Santiago, meu orientador desde a graduação, pelos ensinamentos que enriqueceram minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

Às minhas irmãs Bárbara e Júlia, pela admiração que sempre demonstraram em relação aos meus esforços, que se transformam cada dia mais em uma grande vontade de vencer.

À Neia, pelo cuidado e carinho comigo durante toda minha vida.

Aos grandes amigos do mestrado, que o enriqueceram proporcionando momentos de descontração.

Em especial, ao engenheiro e grande amigo Pedro Marinho Sizenando Silva, pela paciência, apoio e ajuda fundamentais, por ter compartilhado seus conhecimentos de programação e simulação durante este trabalho.

Ao engenheiro Jonathan Simões Freitas, pelo apoio, ensinamentos sobre pesquisa acadêmica e pelo exemplo de postura como estudante e cristão.

Aos amigos da empresa de consultoria DM&P, pelo incentivo a essa empreitada e pelos ensinamentos durante o início de meu curso.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Produção da Escola de Engenharia da UFMG, pela excelente qualidade do curso oferecido.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Contexto atual da gestão de projetos	16
1.2 O problema.....	21
1.3 Objetivos.....	23
1.4 Pontos de melhoria de gerenciamento de projetos que foram foco do trabalho na empresa estudada.....	24
1.5 Posicionamento da literatura e visão geral do trabalho.....	26
CAPÍTULO 2 - CONCEITOS GERAIS.....	29
2.1 Introdução	30
2.2 Caracterização do Gerenciamento de Projetos sob a perspectiva do processamento da informação	31
2.3 A DSM	33
2.3.1 Definições, Conceitos e Importância.....	35
2.3.2 Representação – DSM’s Binárias e Numéricas	37
2.3.3 Princípios.....	40
2.3.4 As diferentes versões da DSM	44
2.3.5 Relação entre sistemas.....	54
2.3.6 Operacionalização do DSM	55
2.3.7 Análise da matriz de DSM	59
2.3.8 Otimização da DSM.....	60
2.4 Comunicação em projetos	63
2.5 Seqüenciamento em projetos.....	64
2.6 Probabilidade de mudança e Impacto	68
2.7 Discussão Final.....	71

CAPÍTULO 3 - FORMULAÇÃO MATEMÁTICA.....	72
3.1 Introdução	73
3.2 Modelo Base.....	74
3.3 Modelo Proposto.....	75
3.4 Exemplo Numérico	81
3.5 Discussão dos resultados obtidos com a aplicação do modelo em um exemplo numérico	98
3.6 Contribuição da formulação matemática	100
CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO.....	102
4.1 Introdução	103
4.2 Metodologia	103
4.3 Empresa A	105
4.4 Objetivos da utilização da ferramenta DSM e do modelo proposto	108
4.5 Caracterização do tipo de projeto desenvolvido.....	109
4.6 Dinâmica da aplicação e resultados obtidos	111
4.7 Discussão dos Resultados.....	122
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO	126
5.1 Introdução	127
5.2 Contribuições para o gerenciamento de projetos.....	128
5.3 Implicações práticas.....	129
5.4 Sugestão para trabalhos futuros	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
ANEXO A.....	143

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Objeto de Investigação

FIGURA 2: Posicionamento do trabalho

FIGURA 3: Objetivos do DSM

FIGURA 4: DSM Binária

FIGURA 5: Tipos de Relacionamento entre tarefas

FIGURA 6: Taxonomia DSM

FIGURA 7: Taxonomia simples de interações entre elementos do sistema

FIGURA 8: Exemplo de uma quantificação das interações em uma matriz com interações do tipo espacial

FIGURA 9: Caracterização do Fluxo de Informação entre Times

FIGURA 10: Matriz binária de estrutura de projeto, particionada para representar a seqüência

FIGURA 11: Relacionamento entre as arquiteturas de produto, processo e organização

FIGURA 12: Passos para construção do DSM

FIGURA 13: DSM inicial de um projeto hipotético

FIGURA 14: Elementos que fornecem informações ao elemento H

FIGURA 15: Elementos que recebem informações do elemento E

FIGURA 16: Principais áreas do DSM

FIGURA 17: Técnicas de Seqüenciamento e Compressão de Cronogramas

FIGURA 18: Sobreposição Natural e Forçada

FIGURA 19: Fator Tempo

FIGURA 20: Probabilidade de Mudança: Informação definida pela tarefa j para a tarefa i

FIGURA 21: Formas de Impacto na tarefa j devido a mudanças na tarefa i

FIGURA 22: Representação no DSM dos relacionamentos

FIGURA 23: Duração das atividades e tempo de comunicação

FIGURA 24: Fator Tempo de Transferência da Informação

FIGURA 25: Fator Tempo de Recebimento da Informação

FIGURA 26: Probabilidade de Retrabalho

FIGURA 27: Gráfico de Gantt, sem sobreposição de tarefas

FIGURA 28: Gráfico de Gantt, utilizando modelo de Maheswari

FIGURA 29: Gráfico de Gantt, para o Caso 2

FIGURA 30: Gráfico de Gantt, para o Caso 3

FIGURA 31: Gráfico comparativo Tempo x Custo de Projeto

FIGURA 32: Estrutura Organizacional da Empresa A – Nível de Diretorias

FIGURA 33: Etapa de “Projeto Civil “ – Entregas Esperadas

FIGURA 34: Dinâmica de intervenção

FIGURA 35: Projeto do Estudo de Caso representado em DSM

FIGURA 36: DSM Particionado do Projeto Estudo de Caso

FIGURA 37: Fator Tempo de Envio Projeto Estudo de Caso

FIGURA 38: Fator Tempo de Recebimento Projeto Estudo de Caso

FIGURA 39: Momentos de Repasse Projeto Estudo de Caso

FIGURA 40: Tempo de Comunicação Projeto Estudo de Caso

FIGURA 41: Gráfico de Gantt Menor Custo - Projeto Estudo de Caso

FIGURA 42: Gráfico de Gantt - Menor Custo dentro das opções de Menor Tempo - Projeto Estudo de Caso

FIGURA 43: Gráfico comparativo Tempo x Custo de Projeto - Projeto Estudo de Caso

FIGURA 44: Funções objetivo e resultados obtidos - Projeto Estudo de Caso

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Vendas nacionais, pelas distribuidoras, dos principais derivados de petróleo - 1999-2008

TABELA 2 Sumário das características dos tipos de DSM

TABELA 3: Comparação entre tipos de DSMs e algoritmos

TABELA 4: Dados obtidos com modelo proposto, sem considerar parâmetros de custo

TABELA 5: Dados obtidos com modelo proposto, considerando parâmetros de custo

TABELA 6: Dados do Exemplo

TABELA 7: Tabela de variação dos Fatores de Tempo de Envio

TABELA 8: Resumo dos Resultados do Caso 2

TABELA 9: Custos de Trabalho e Retrabalho de cada atividade para o exemplo

TABELA 10: Resumo dos Resultados Caso 3

TABELA 11: Resumo dos Resultados

TABELA 12: Principais Funções Objetivo e resultados obtidos

TABELA 13: Cronograma macro previsto pela empresa

TABELA 14: Tarefas, Predecessoras, Duração e Custos Unitários do Projeto do Estudo de Caso

TABELA 15: Resumo Resultados Menor Custo - Projeto Estudo de Caso

TABELA 16: Resumo Data Início e Fim - Menor Custo - Projeto Estudo de Caso

TABELA 17: Resumo Resultados Menor Tempo - Projeto Estudo de Caso

TABELA 18: Resumo Data Início e Fim - Menor Tempo - Projeto Estudo de Caso

TABELA 19: Resumo Resultados Menor Custo dentro das opções de Menor Tempo - Projeto Estudo de Caso

TABELA 20: Resumo Data Início e Fim - Menor Custo dentro das opções de Menor Tempo - Projeto Estudo de Caso

Silva, Daniel D. C. **Avaliação do impacto da transferência precoce de informação no tempo e no custo de desenvolvimento de projetos.** DEP-UFMG, 2010. 146p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais

O tempo de desenvolvimento de projetos é um fator de vantagem competitiva para as empresas responderem de forma rápida às exigências do mercado. A pressão pela agilização no repasse de informação entre tarefas, visando diminuir o tempo de projeto, pode impactar em retrabalho, considerando que esse repasse apresenta uma carga de incerteza quanto à assertividade do dado. Torna-se pertinente uma análise comparativa entre o tempo de finalização de um projeto e o custo associado a sua execução, considerando o impacto do retrabalho. Esta dissertação apresenta um modelo de estimação do tempo de desenvolvimento de projetos, que considera as premissas da sobreposição de tarefas, o momento de repasse de informação, os riscos de retrabalho e o impacto resultante do repasse precipitado da informação. Foi utilizada a ferramenta *Design Structure Matrix* para o mapeamento dos inter-relacionamentos entre tarefas do projeto levando-se em consideração o parâmetro da comunicação, tendo em vista que ele é item importante nos processos de gerenciamento de projetos. Concluiu-se que a incerteza decorrente do repasse de informação precipitado pode gerar um aumento no tempo de projeto, e deve ser analisada com as variações de custo devido ao retrabalho. Do ponto de vista prático, o modelo estima o melhor momento da troca de informação entre as tarefas.

PALAVRAS-CHAVE: Gerenciamento de Projetos, *Design Structure Matrix*, Probabilidade de Mudança e Impacto, Sobreposição de Tarefas, Tempo de Comunicação

Silva, Daniel D. C.; **Assessment of the impacts of hasty information exchange on duration and cost of project development** Belo Horizonte, 2010. 146 p. M. Sc. Dissertation - DEP, Universidade Federal de Minas Gerais.

The duration of project development represents a comparative advantage for companies in providing swift response to market demands. The pressure for accelerating information flow between tasks, aiming to reduce project duration, may result in rework, considering that increased speed generates uncertainty on data reliability. It becomes thus pertinent to conduct a comparative analysis between the time needed for project finalization and the costs involved, taking the impacts of rework into account. This work presents a model for estimation of project development duration, relying on a set of assumptions such as task overlapping, the moment of information exchange, the risks of rework and the resulting impacts of incomplete exchange of information. The *Design Structure Matrix* tool was adopted to map the intricate relations between the project tasks under the light of communication, bearing in mind it consists of an important aspect of project management processes. The conclusion of the study is that the uncertainty generated by hasty information exchange may increase the duration of the project, and it has to be evaluated, along with the cost fluctuation due to rework. From a practical point of view, the model estimates when is the best moment for performing information exchange between tasks.

KEYWORDS: Project Management, Design Structure Matrix, Probability of Change and Impact, Task overlapping, Communication Time.



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1. Introdução

Esta dissertação apresenta um modelo matemático de estimação do tempo de desenvolvimento de projetos, que considera as premissas da sobreposição de tarefas e momento de repasse de informação, os riscos de retrabalho e o impacto resultante do repasse precipitado da informação. Será utilizada a ferramenta *Design Structure Matrix* para o mapeamento dos inter-relacionamentos entre tarefas do projeto e será levado em consideração o parâmetro da comunicação, dado que ele é item importante nos processos de gerenciamento de projetos.

Uma empresa do ramo de distribuição de combustíveis, que tem lidado com a necessidade de expansão e adaptação de suas bases de armazenamento através de projetos de modernização, ampliação, construção e melhoria de instalações, é utilizada para a realização do estudo de caso por meio da aplicação do modelo desenvolvido nesta dissertação em um projeto de instalação de uma base de distribuição. Este capítulo introdutório tem como objetivo evidenciar o problema envolvido no projeto de pesquisa e os objetivos que foram estabelecidos a partir dele. Assim, o capítulo se divide em quatro partes: a primeira apresenta o problema que motivou a pesquisa e o contexto em que se insere; a segunda apresenta os objetivos geral e específicos do trabalho; a terceira descreve os pontos de melhoria no processo de Gerenciamento de Projetos, que foram foco de análise no trabalho; por fim, uma visão geral do trabalho e o posicionamento na literatura são apresentados.

1.1 Contexto atual da gestão de projetos

O gerenciamento de projetos tem evoluído continuamente e é hoje condição de importância para a sobrevivência e o progresso das empresas, pois se traduz na capacidade da empresa em executar as melhores iniciativas e mudanças. Os conceitos e técnicas dessa área, desenvolvidos primeiramente pela indústria aeroespacial, são hoje aplicados em qualquer ramo que lida com projetos, renovando-se freqüentemente. Assim, a abordagem de projetos tem se tornado uma realidade necessária para as empresas. Para Maximiano (2002), o aprimoramento contínuo, a qualidade total, a racionalização, a implantação de sistemas, as expansões, as melhorias e os processos de desenvolvimento organizacional e de produtos “são todos empreendimentos que podem e devem ser administrados como projetos”.

Tem-se observado que os procedimentos relativos ao desenvolvimento de novos produtos e gerenciamento de projetos tem evoluído de uma abordagem tradicional, puramente seqüencial, na qual cada atividade é executada após a completa finalização de sua atividade antecessora, para uma abordagem de engenharia simultânea, o que aumenta a complexidade de coordenação e realização das tarefas do projeto (EPPINGER, 1991).

Tal movimento é reflexo de um mercado competitivo e globalizado que exige velocidade de resposta a determinadas demandas e menor número de erros de projeto. O desenvolvimento desses projetos envolve milhares de subprojetos do projeto, sendo que estes devem atuar visando ao mesmo objetivo, o que implica uma grande necessidade por coordenação efetiva dos recursos e do prazo (EPPINGER, 1991). Todas essas atividades não devem ser realizadas em série, uma vez que se tomaria muito tempo para a finalização de um projeto, apresentando-se a importância do desenvolvimento de atividades em paralelo, princípio da engenharia simultânea.

Smith *et al.* (1998) consideram que a realização de tarefas de projeto de forma seqüencial tem se mostrado ineficiente, uma vez que acarreta grandes dispêndios de tempo de desenvolvimento, altos custos, e baixa qualidade geral do produto final, resultando em baixos retornos para a empresa. A engenharia

simultânea¹ se baseia em um conceito de promover a incorporação de preocupações das etapas finais do processo de desenvolvimento às etapas iniciais, de forma a acelerar o processo, aumentando a qualidade do produto e diminuindo os custos de desenvolvimento (Yassine *et al.*, 2003).

Tal característica da engenharia simultânea faz com que surja uma necessidade por desenvolvimento conjunto de informações entre os participantes do projeto (EPPINGER, 1991), além da troca prematura de informações. Ainda, “a engenharia simultânea não simplifica o processo de projetar, mas sim adiciona uma grande carga de tarefas inter-relacionadas e conjugadas que torna o trabalho ainda mais difícil” (EPPINGER, 1991, p.288). Esse fato pode gerar um impacto negativo no sucesso do projeto, pois implica um risco de aumento do seu tempo de desenvolvimento e aumento de seus custos, devido ao retrabalho (LOVE *et al.*, 2009). Outras conseqüências adversas como a contratação adicional de recursos, redução no escopo e na qualidade do projeto se evidenciam (LOVE *et al.*, 2009). Para Eppinger (1991), o relacionamento existente entre aumento de qualidade e aumento de tempo de projeto nas decisões de sobreposição de tarefas deve ser voltado para a premissa de que “a engenharia simultânea obtém sucesso na diminuição do tempo de realização de projetos, somente se a adição de iterações nas fases iniciais do projeto eliminar as iterações nas fases posteriores do projeto, que iria necessitar de um tempo maior de realização”.

Surge, portanto, a importância de planejar o seqüenciamento efetivo de projetos, considerando-se os diversos tipos de relacionamento entre tarefas, seus momentos de interação e a oportunidade de sobreposição de tarefas para a efetivação do conceito de engenharia simultânea e a garantia de um menor tempo de projeto associado a um custo viável de realização. Se escolherem-se tarefas para serem realizadas em paralelo, sem antes considerar as suas

¹ Eppinger *et al.* (1994) caracterizam duas abordagens: a Engenharia Simultânea Reduzida – funciona bem, uma vez que o trabalho em pequenas equipes, com proximidade elevada entre os membros, favorece a resolução de problemas técnicos de forma rápida e com entendimento mútuo. E a Engenharia Simultânea Ampla, que apresenta maiores desafios, uma vez que o esforço de desenvolvimento envolve milhares de pessoas, e o grande projeto é decomposto em vários pequenos projetos (subprojetos), cada um sendo realizado por pequenas equipes.

dependências, pode-se ocorrer uma iteração adicional e um aumento do tempo de ciclo. Arbitrariamente definir tarefas a serem realizadas de forma simultânea não garante a redução do tempo de ciclo (DENKER *et al.*, 2001).

À luz dos conceitos de fluxo de informação (ALEXANDER, 1964 *apud* CARRASCOSA *et al.*, 1998), nos quais cada atividade de desenvolvimento do projeto é uma atividade de processamento da informação, este trabalho traz como principal contribuição a proposição de um modelo que retrata a realidade de projeto de forma mais acurada, quando considera no planejamento das tarefas a definição dos melhores momentos de repasse da informação, as premissas de incerteza na troca de informação e o impacto causado no tempo e no custo total do projeto.

Uma das vantagens de nossa abordagem é a utilização da ferramenta DSM – *Design Structure Matrix* – baseada em atividades que garante uma forma compacta de apresentar informações, além da habilidade de fornecer um mapeamento sistemático entre os elementos que compõe o projeto. Para Maheswari *et al.* (2005), o uso da ferramenta DSM para programação e seqüenciamento tem sido limitado, apresentando assim uma lacuna para investigação do uso da ferramenta para tal fim. O conceito de Comunicação será acrescido de forma a agregar valor ao trabalho, uma vez que a comunicação é comumente referenciada como um dos fatores mais importantes no Desenvolvimento de Produtos e Gerenciamento de Projetos (BATALLAS *et al.*, 2006). A Figura 1 apresenta um esquema sobre o objeto de investigação.

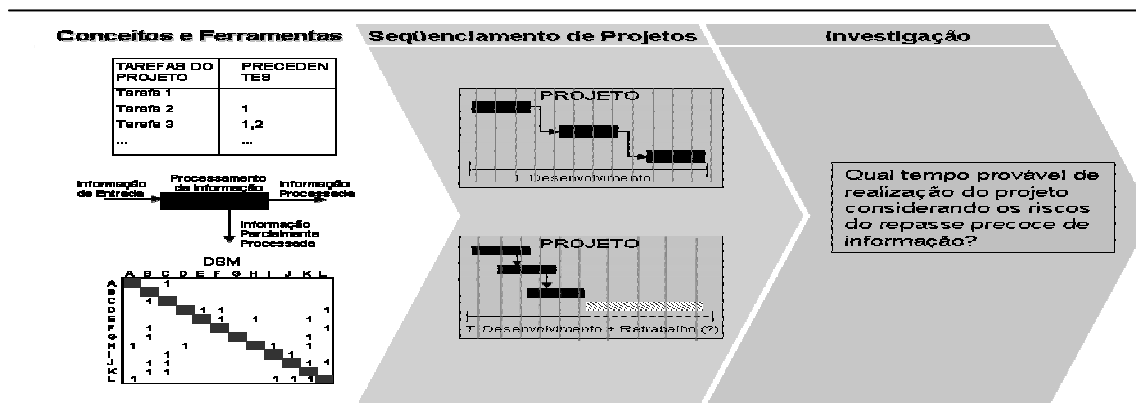


Figura 1: Objeto de Investigação

O mercado de distribuição de combustíveis e a necessidade de projetos

Com a abertura do mercado de petróleo e seus derivados, oficializada a partir do advento da Lei nº 9.478 de 06 de agosto de 1997, passou-se a fazer valer os princípios do livre comércio de uma economia cada vez mais globalizada, expondo a competitividade entre as empresas desse mercado. De imediato, diversas empresas estrangeiras foram atraídas e iniciaram suas atividades nos blocos licitados pela Agência Nacional de Petróleo.

Os pressupostos esperados voltados para o estabelecimento da livre concorrência, como o desenvolvimento de novas tecnologias, a garantia do fornecimento de derivados em todo o território nacional, entre outros se têm evidenciado. No segmento de distribuição², especialmente depois da abertura do mercado e desregulamentação da atividade, a competição entre as empresas está cada vez mais acirrada, com centenas de empresas de distribuição autorizadas a operar no país. Hoje, segundo dados do SINDICOM, Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes (www.sindicom.com.br), existem 265 empresas de distribuição de combustíveis no Brasil.

² Segundo Cardoso (2004), segmento de distribuição são empresas cujas atividades se caracterizam pela aquisição de produtos a granel e sua revenda por atacado para a rede varejista ou para grandes consumidores. Engloba também as atividades de aquisição, armazenamento, transporte e controle de qualidade dos combustíveis líquidos derivados de petróleo, álcool combustível, lubrificantes, entre outros combustíveis automotivos.

Percebe-se a evolução do mercado por meio dos dados de consumo apresentados na Tabela 1, especialmente nos anos de 2007 e 2008.

Derivados de petróleo	Vendas nacionais pelas distribuidoras (mil m ³)										08/07 %
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Total	86.317	85.204	86.123	84.705	81.309	83.907	84.140	84.486	88.419	92.682	4,82
Gasolina C	23.681	22.630	22.211	22.610	22.610	23.174	23.553	24.008	24.325	25.175	3,49
Gasolina de aviação	76	76	71	63	59	61	55	52	55	61	11,45
GLP	12.461	12.783	12.703	12.165	11.436	11.708	11.639	11.783	12.034	12.259	1,87
Óleo combustível	10.714	10.086	9.093	7.561	6.200	5.413	5.237	5.127	5.525	5.172	-6,40
Óleo diesel	34.720	35.151	37.025	37.668	36.853	39.226	39.167	39.008	41.558	44.764	7,71
QAV	4.566	4.333	4.818	4.436	3.972	4.209	4.429	4.466	4.891	5.227	6,89
Querosene Iluminante	100	145	202	201	177	116	59	42	31	24	-20,83

Tabela 1: Vendas nacionais, pelas distribuidoras, dos principais derivados de petróleo - 1999-2008 (Site ANP www.anp.gov.br)

Tendo em vista tal crescimento, as empresas do mercado de distribuição têm direcionado sua agenda de investimentos para projetos que garantam o suprimento da demanda.

Num país de dimensões continentais, o grande desafio logístico é alcançar regiões distantes, com preços competitivos e com garantia da qualidade do produto. Para tanto, a construção, manutenção ou expansão de instalações com toda a infra-estrutura necessária para o recebimento de derivados de petróleo, bem como para o armazenamento, mistura e a própria distribuição tornam-se preponderantes para a sobrevivência da empresa.

Para Cardoso (2004), desenvolver um plano de metas de melhoramento contínuo da empresa é de grande importância para o crescimento do negócio e torna-se um diferencial num mercado cada vez mais acirrado. Investimento no desenvolvimento de novos produtos cada vez menos poluentes, aporte de recursos para o desenvolvimento tecnológico, de recursos humanos, de atendimento a clientes, segurança e proteção ao meio ambiente, tratamento de resíduos, entre outros, têm sido considerados iniciativas ou mudanças que procuram garantir um certificado de excelência às empresas desse mercado, na medida em que se melhora o desempenho da execução das atividades e se reduz os custos operacionais.

Portanto, ferramentas de gerenciamento de implantação dessas mudanças e iniciativas passam a ocupar um papel de destaque, de forma a garantir um melhor planejamento dos projetos, direcionado para um menor tempo de execução a um custo viável e competitivo para a empresa.

1.2 O problema

Diante desse cenário, muitos desafios se apresentam para as empresas que lidam com projetos em seu dia-a-dia e necessitam atender o mercado com uma resposta rápida a um custo viável. Nesse sentido, a aplicação de técnicas de gestão de projetos, que contemplem as variáveis da dinâmica do trabalho, como os riscos erro nas trocas de informação e a comunicação entre as tarefas se tornam necessárias para a garantia do melhor planejamento e execução dos projetos.

Nos últimos anos, diversas técnicas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de incrementar o processo de gerenciamento de projetos, especialmente no que tange o seqüenciamento de tarefas, e que resultem em melhor desempenho das empresas nas dimensões de atendimento ao escopo, prazo, custo e qualidade.

Buscando-se o menor tempo de projetos, a sobreposição de tarefas por meio dos conceitos de engenharia simultânea tem sido proposta na literatura e aplicada na prática diária de empresas. No entanto, ao se utilizar o mecanismo de sobreposição de tarefas, apresenta-se o risco de retrabalho e conseqüente aumento do tempo de desenvolvimento causado por informações disponibilizadas no momento errado, muitas vezes representado por seqüenciamento inadequado das tarefas, mudanças, atrasos, erros, suposições erradas de informação, etc. (BROWNING, 2001). Esse fato motiva o desenvolvimento deste trabalho, baseado nos seguintes questionamentos:

Qual o tempo provável de realização de um projeto, considerando-se os riscos inerentes à aplicação das técnicas de engenharia simultânea?

Especificamente, qual o impacto no custo e no tempo de projeto devido à transferência precoce de informações entre as tarefas (conseqüências de um mercado competitivo), visando à redução do tempo de desenvolvimento?

Tais perguntas se tornam pertinentes na medida em que as empresas enfatizam o uso de técnicas que reduzem o tempo de desenvolvimento de projetos e necessitam de maior previsibilidade e entendimento. Ao considerar parâmetros de comunicação, seqüenciamento de projetos, custos de trabalho e riscos de retrabalho, o modelo a ser apresentado se torna uma alternativa para o planejamento de projetos e auxilia na resposta das perguntas apresentadas.

1.3 Objetivos

Objetivo geral

- Diante do contexto apresentado, este projeto de pesquisa tem como objetivo avaliar o impacto da transferência precoce de informação no tempo e no custo de desenvolvimento de projetos mediante a utilização de um modelo matemático e da ferramenta *Design Structure Matrix*.

Para alcançar esse propósito, o objetivo geral foi desdobrado nos seguintes objetivos específicos:

Objetivos específicos

- desenvolver um modelo matemático para estimação do tempo de desenvolvimento de projetos, que considere os parâmetros de Comunicação, Sobreposição de Tarefas, Retrabalho e Custo de Trabalho e Retrabalho;
- realizar uma análise comparativa entre custo e tempo de projeto, sob a ótica de custos de trabalhar e custos de se retrabalhar uma informação;
- validar o modelo através da aplicação em um problema real de desenvolvimento de projetos.

1.4 Pontos de melhoria de gerenciamento de projetos que foram foco do trabalho na empresa estudada

Ao aplicar a ferramenta DSM e o modelo proposto de planejamento de projetos espera-se contribuir para a melhoria do processo de gerenciamento de projetos de uma empresa, especificamente na etapa de planejamento de projetos e seqüenciamento de tarefas. A empresa utilizada para a pesquisa será denominada no texto como Empresa A.

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa foi realizada uma aplicação do modelo e da ferramenta DSM em um determinado projeto teórico de forma a se testar a abordagem e se realizar uma avaliação inicial do uso da ferramenta e dos resultados obtidos com o modelo. Em um segundo momento, o modelo e a ferramenta foram aplicados em um projeto real de uma empresa de distribuição de combustíveis de forma a verificar seus benefícios e limitações no que tange ao auxílio no planejamento de projetos.

Seguem abaixo os pontos de melhoria do processo de gerenciamento de projetos que são foco desta aplicação da ferramenta e do modelo elaborado:

Ferramenta DSM:

- Melhoria na capacidade de sistematizar o seqüenciamento de projetos enfocando no fluxo da informação entre tarefas;
- Representar de forma compacta e clara um sistema complexo como um projeto, bem como suas interfaces e relações de dependência entre tarefas;
- Organização e difusão do conhecimento tácito existente no planejamento de projetos de forma a garantir o registro das informações e facilitação no entendimento.
- Transmissão eficiente de informações do projeto para os responsáveis pela execução do projeto.

Modelo Proposto:

- Melhoria na capacidade de planejamento de projetos e na efetivação dos conceitos de engenharia simultânea;
- Melhoria da capacidade de estimação do tempo de projeto, considerando-se a incerteza da informação no processo de sobreposição de tarefas e o conseqüente risco de retrabalho;
- Mapeamento da grade de oportunidades de planejamento de projeto ao apresentar os diversos pontos potenciais de repasse de informação entre tarefas, os retrabalhos esperados, tempos estimados e custos relacionados a cada oportunidade.

1.5 Posicionamento da literatura e visão geral do trabalho

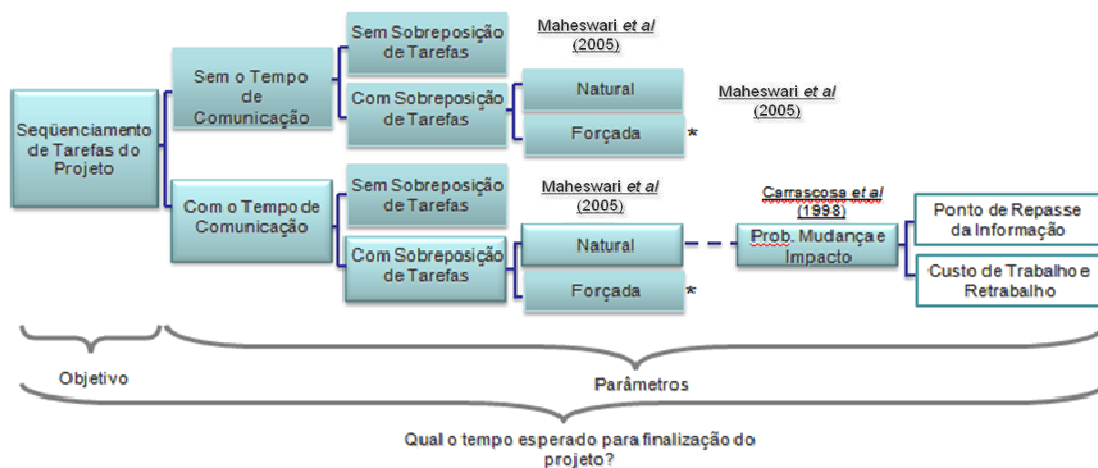
Conforme apresentado nos itens anteriores, o gerenciamento de projetos vem se consolidando e ganhando importância significativa no contexto empresarial e acadêmico, e o seu sucesso está diretamente relacionado a uma resposta rápida e assertiva ao mercado. A utilização de técnicas que diminuam o tempo de realização de um projeto e que atendam à demanda é vinculada à limitação de ponto ótimo de repasse de informação, em busca de um melhor tempo de projeto associado a um custo viável. A precipitação da interação entre tarefas, culminando com o repasse da informação incompleta, pode levar ao aumento no tempo de realização de um projeto, bem como a uma elevação nos custos relativos ao retrabalho. Nesse contexto, a justificativa para a realização deste trabalho se dá pela crescente necessidade de entendimento correto dos inter-relacionamentos entre tarefas de um projeto e o impacto causado pelo repasse de informação entre as tarefas de forma precipitada, revertendo-se o resultado esperado pela sobreposição de tarefas.

Considerando os conceitos de Tempo de Comunicação (MAHESWARI *et al.*, 2005), Sobreposição de Tarefas (MAHESWARI *et al.*, 2005) e Probabilidade de Impacto e Mudança (CARRASCOSA *et al.*, 1998), bem como os conceitos de Gerenciamento de Projetos, Engenharia Simultânea e a ferramenta DSM baseada em atividades, este trabalho abrange os conceitos apresentados em ambos os artigos de forma complementar, visando a uma aproximação da realidade do contexto de projetos.

Maheswari *et al.* (2005) apresentaram dois modelos voltados para o seqüenciamento de projetos, sendo um voltado para projetos que não apresentavam sobreposição de tarefas, mas com um tempo de comunicação, e outro considerando a sobreposição natural de tarefas. Em ambos os modelos não foi apresentada a relação de interdependência entre tarefas e nem os conceitos de retrabalho. Carrascosa *et al.* (1998) avaliam o provável tempo de finalização de determinado projeto de desenvolvimento de produtos, considerando os conceitos de retrabalho por meio da Probabilidade de Mudança e Impacto.

Este trabalho refina e aumenta a complexidade do modelo que considera a sobreposição natural de tarefas desenvolvido por Maheswari *et al.* (2005), acrescentando-se o Tempo de Comunicação e os conceitos de retrabalho apresentados por Carrascosa *et al.* (1998), visando a uma aproximação ainda maior da realidade de projetos e aproveitando-se de lacunas e sugestões de estudos salientadas pelos próprios autores dos artigos base. A partir do modelo, buscar-se-á identificar o melhor ponto de repasse de informação entre tarefas do projeto (levando-se em consideração o fator tempo de repasse/recebimento de informação) de forma a reduzir o tempo de projeto – também um diferencial frente aos artigos base, uma vez que eles não investigavam o melhor momento do repasse. Uma análise do tipo comparativa entre tempos obtidos e custos associados poderá ser obtida, acrescentando-se ao modelo os conceitos/parâmetros de custo de trabalho e custo de retrabalho.

A Figura 2 ilustra o posicionamento do trabalho:



* Segundo o Maheswari et al (2006), a sobreposição forçada apresenta alto risco, não sendo portanto de interesse para os Gerentes de Projeto

Figura 2: Posicionamento do trabalho

Com a função de atingir os objetivos estabelecidos nos itens anteriores, o restante deste trabalho será dividido em mais quatro capítulos. No capítulo 2 será apresentada a revisão bibliográfica. O objetivo desse capítulo é apresentar conceitos gerais que envolvem o problema, como a ferramenta DSM, o tempo de comunicação em projetos e sua importância, a sobreposição de tarefas e os conceitos de probabilidade de mudança e impacto.

No capítulo 3, será apresentada a formulação matemática do sistema. Para tal, será exposto o modelo que serviu de base para a elaboração do modelo proposto, um detalhamento desse último, bem como um exemplo de aplicação e os resultados obtidos.

Tendo em vista os embasamentos teóricos e a exposição do modelo matemático, o capítulo 4 visará descrever a utilização do modelo em um projeto real de uma empresa do mercado de distribuição de combustíveis. Procurar-se-á realizar uma descrição detalhada que permita evidenciar as vantagens e as limitações da utilização do modelo. Tal caso relatado é resultado da aplicação da ferramenta em uma grande empresa do setor no início de 2010. Para a descrição do caso, serão abordados os seguintes tópicos: ambiente de pesquisa; metodologia utilizada; objetivos de utilização da ferramenta DSM e do modelo proposto; caracterização do projeto analisado; dinâmica da intervenção/utilização do modelo; resultados obtidos; discussão dos resultados.

No capítulo final são apresentadas as conclusões da pesquisa, a contribuição do modelo e as limitações identificadas. Ainda, será apresentada uma sugestão de trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos no sentido evoluir o modelo e aprimorar a abordagem apresentada.



CAPÍTULO 2

CONCEITOS GERAIS

2.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos que embasam e justificam os parâmetros considerados no modelo elaborado. O capítulo busca elucidar os principais pontos e características desses conceitos, enfatizando a importância desses itens com a disciplina de gestão de projetos e a relação de complementaridade que existe entre eles. É apresentada também uma revisão teórica da ferramenta *Design Structure Matrix*, dado que ela foi utilizada para o mapeamento dos relacionamentos entre as tarefas de um projeto. O capítulo é dividido em quatro partes: na introdução é apresentada uma caracterização do gerenciamento de projetos e sua importância diante das pressões competitivas; na segunda parte é apresentada uma revisão teórica dos conceitos da ferramenta *DSM*, sua origem, importância, aplicações e o modo de operação; nas partes três e quatro são apresentados respectivamente os conceitos de Comunicação em Projetos e o Seqüenciamento de Tarefas; na parte quatro, uma revisão dos conceitos de erro no repasse da informação entre tarefas, representados pelos parâmetros de Probabilidade de Mudança e Impacto.

Os novos desenhos de produtos/serviços, de processos de produção, abordagens de marketing inovadoras ou novas técnicas de gestão de pessoas, têm como intuito tornar a empresa mais competitiva, apresentando aos clientes o posicionamento da organização em relação aos produtos e serviços dos concorrentes. A dinâmica de tais mudanças é representada por sistemas cada vez mais complexos, uma vez que as equipes envolvidas são formadas por centenas ou milhares de pessoas de diferentes disciplinas do conhecimento e as inter-relações entre as tarefas ou entidades do projeto/produto tornam-se evidentes e de importância, afetando toda a organização.

Nesses sistemas complexos, o liame entre a execução da mudança com qualidade e no tempo planejado e o custo do projeto evidencia a natureza de competição diferenciada, para a qual a capacidade de planejamento de projetos e gerenciamento precisa ser veloz e eficiente. Diante disso, o gerenciamento de projetos e o correto entendimento dos relacionamentos entre as tarefas do projeto ao se planejar a execução tornam-se fundamentais para uma empresa e fonte de diferenciação frente a concorrência.

2.2 Caracterização do Gerenciamento de Projetos sob a perspectiva do processamento da informação

Com o aumento da complexidade, a coordenação das interações e trocas de informações entre os subsistemas, tarefas e entidades que compõem o projeto tornam-se de crucial responsabilidade da gerência de engenharia. Facilitar a transferência dessas informações entre os diversos subprojetos e, conseqüentemente, entre as diversas equipes, garantindo a interação necessária, é uma tarefa organizacional essencial para os gestores de equipes de projetos e que pode garantir uma vantagem competitiva (DRUCKER, 1985).

As empresas estão lidando com a pressão para constantemente reduzirem o tempo de resposta ao mercado em seus esforços de desenvolvimento de produtos (CARRASCOSA *et al.*, 1998). Observa-se também a pressão por melhores resultados no gerenciamento dos projetos de forma geral (PRADO, 2004), uma vez que se constata uma crescente dificuldade no planejamento e na execução dos projetos (PMI *Chapters* Brasileiros, 2007). Tal necessidade tem levado as empresas a focar no processo de gerenciamento de projetos e de forma eficiente organizar pessoas, recursos e processos para obterem uma vantagem competitiva.

Assim, investir na adoção de técnicas e ferramentas de gerenciamento de projetos vem sendo uma das principais preocupações estratégicas das diversas lideranças empresariais de forma a atender tais necessidades. Desde a década de 90, por exemplo, as práticas de gerenciamento de projetos se consolidaram como metodologia, sendo apresentadas por diversos estudiosos como disciplina obrigatória nas organizações que querem estabelecer e manter vantagens competitivas (FRAME, 1999). De acordo com o PMI, órgão sem fins lucrativos dedicado ao avanço do estado da arte em gerenciamento de projetos e sediado nos EUA: “O Gerenciamento de Projetos é a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos” (PMI, 2004, p.8).

Com o intuito de garantir um melhor gerenciamento dos projetos, com um desenvolvimento de forma acelerada, com menos erros de projeto, as empresas têm adotado a perspectiva do processamento da informação e

ferramentas de gestão que favoreçam a constante troca de informação, retroalimentação e a iteração necessária no fluxo do processo (EPPINGER, 2001). Para Smith *et al.* (1997), a iteração característica do processo de design é a repetição das tarefas de projeto, dado que uma nova informação está disponível. Tais iterações ocorrem em processos de desenvolvimento quando, por exemplo, uma atividade a montante deve ser realizada novamente após a tarefa a jusante descobrir algum tipo de erro ou incompatibilidade. Ou, ainda, essa mesma tarefa deverá sofrer alguma modificação devido à nova informação gerada pela tarefa a montante a ser corrigida.

Cabe ressaltar que apesar das iterações e da retroalimentação no fluxo de informação serem favoráveis à inovação e ao gerenciamento do projeto, o excesso de tais características no processo pode levar ao consumo excessivo de recursos e tempo. Dessa maneira, as iterações devem ser cuidadosamente entendidas, mapeadas, planejadas e gerenciadas. Deve-se garantir que as chamadas boas iterações que favoreçam o projeto ocorram, e que as ruins sejam eliminadas (EPPINGER, 2001).

Dessa forma, Browning (2001) argumenta que as empresas, ao lidarem com os projetos complexos relativos a produtos, processos e organização, se vêem com a necessidade de aumentar o entendimento relativo ao sistema que formam e, assim, conseguem planejar e gerenciar bem as iterações e o fluxo de informação necessária e importante. Para tanto, as empresas utilizam-se de abordagens clássicas de entendimento do sistema, como o desdobramento do sistema em subsistemas de maior conhecimento geral, entendendo o inter-relacionamento existente entre os subsistemas formados com o objetivo de traçar as características intrínsecas ao conjunto e o entendimento das entradas e saídas dos processos, bem como o impacto gerado pelos mesmos no sistema.

Apresenta-se assim o benefício do uso de ferramentas que facilitem o planejamento do projeto, na tomada de decisão e na melhoria dos processos, por meio de uma facilitação na visualização dos relacionamentos entre as entidades do sistema (seja tarefas, equipes, pessoas, componentes de produto, etc.) e no entendimento do fluxo das informações dentro do sistema. A

ferramenta DSM (*Design Structure Matrix*) apresenta-se como importante ferramenta de análise de sistemas, uma vez que proporciona uma compacta e limpa representação de um sistema complexo e se constitui como método para capturar as interações, interdependências e interfaces entre elementos de um sistema, e também como ferramenta de gerenciamento, porque ela permite a representação do processo de projeto e de suas atividades cíclicas e de retroalimentação. Browning (2001) apresenta que a ferramenta tem sido utilizada em diversos contextos, como o desenvolvimento de produtos, gestão de projetos, planejamento de projetos, engenharia de sistemas e projeto organizacional, demonstrando a versatilidade da ferramenta e sua intensidade de utilização.

2.3 A DSM

As primeiras ferramentas de gerenciamento de projetos apresentavam um foco para o estudo de seqüenciamento de tarefas, tendo início com o desenvolvimento das técnicas de rede de atividades (PERT, CPM) no final dos anos 1950, quando se deu origem ao entendimento do caminho crítico do projeto (LOCKYER, 1969). Já a análise de riscos do projeto foi incluída no início da década de 1960 (e.g., ELSNER 1962, *apud* PICH *et al.*, 2002; ELMAGHRABY, 1964 *apud* PICH *et al.*, 2002).

Tais ferramentas de planejamento de projeto auxiliam na descrição gráfica dos fluxos de tarefas (dependência ou independência), porém não permitem a modelagem do fluxo de informações. Segundo Eppinger (2001), as ferramentas tradicionais de gerenciamento de projetos apresentam graficamente o fluxo de trabalho (tarefas representadas como círculos e fluxo de trabalho como flechas) seqüencial, muitas vezes de difícil compreensão, especialmente quando o projeto apresenta diversas tarefas e algumas necessitam ser retrabalhadas (EPPINGER, 2001; YASSINE *et al.*, 2003).

Ainda, Yassine *et al.* (2003) defendem que essas ferramentas tradicionais auxiliam a modelagem de problemas, considerando apenas a existência de

tarefas paralelas ou seqüenciais (ver tópico 2.3.2), ou seja, problemas com características menos complexas.

Porém, a realidade de projetos de engenharia leva a um contexto de tarefas inter-relacionadas e conjugadas, não sendo nem puramente seqüencial, nem puramente paralela, características de sistemas complexos. Eppinger (2001) defende que a DSM é uma poderosa ferramenta para apresentar de forma simples e significativa os complexos sistemas (como o desenvolvimento de projetos) e atender à demanda de mapear os diferentes tipos de relacionamento do projeto (sistema, componente, etc). Tal ferramenta se difere das tradicionais por focar muito mais os fluxos de informação do projeto do que o fluxo de trabalho. HAO (2008, p.1) argumenta que o DSM se difere das ferramentas tradicionais de gerenciamento de projetos porque “o método foca no complexo fluxo de informações – seqüencial, paralelo e interdependente – mais do que em simples fluxos únicos seqüenciais ou paralelos de trabalho”.

Tal ferramenta de análise (*Design Structure Matrix*) teve origem na década de 50, sendo voltada para os esforços de solução de sistemas de equações complexas (BROWNING, 1998). Porém a definição formal e o início de sua utilização em processos de projetos se deram em 1981, quando Steward descreveu a *Design Structure Matrix* (STEWART, 1981).

Em 1988, Rogers elaborou um software chamado *Design Manager's Aide for Intelligent Decomposition* (DeMAID) para auxiliar a análise das matrizes da DSM (BROWNING, 2001). O uso atual nas indústrias e o entendimento da real importância do método são percebidos somente a partir da década de 1990 (OLOUFA *et al.*, 2004), introduzidos por alguns professores e alunos do *Massachusetts Institute of Technology*, MIT.

Nos últimos anos, a utilização da DSM tem se expandido do MIT para as indústrias e a comunidade acadêmica, sendo que a necessidade de um termo mais geral conduziu para a nomenclatura *Dependency Structure Matrix*, mas sendo conservados os conceitos iniciais definidos por Steward (1981).

A abordagem DSM é uma representação matricial de um gráfico direcionado que representa um complexo sistema, em cujas linhas e colunas são

representados os nós e na interseção são representadas as linhas do gráfico direcionado (melhor detalhado na seção 2.3.2). A grande vantagem de uma representação matricial sobre as outras ferramentas é a sua forma compacta de apresentar informações, além da habilidade de fornecer um mapeamento sistemático entre os elementos de forma clara e objetiva, independentemente do tamanho do projeto (MAHESWARI *et al.*, 2005). Segundo este autor, “(...) a matriz claramente representa onde as interdependências ocorrem e facilita, entre outros pontos, a identificação e avaliação das opções de seqüenciamento. O DSM fornece uma melhor metodologia de planejamento ou uma estrutura para as decisões gerenciais” (MAHESWARI *et al.*, 2005, p.224).

Portanto, tal ferramenta originou-se de forma a focar muito mais os fluxos de informação do projeto do que o fluxo de trabalho. Para Eppinger (2001), considerando os projetos como sistema complexo, as tradicionais ferramentas de gestão de projetos procuram responder à questão “Quais tarefas necessitam ser terminadas para que eu possa executar esta tarefa?”, enquanto o DSM procura responder a uma pergunta bem diferente: “Quais informações são necessárias para que eu possa executar esta tarefa?”.

2.3.1 Definições, Conceitos e Importância

Browning (2001), apesar de fazer uso do termo *Design Structure Matrix* (DSM) em seu artigo, cita que a matriz é também conhecida como matriz de estrutura de dependências (*Dependency Structure Matrix*), matriz de fontes de dependência (*Dependency Source Matrix*), mapa de dependência (*dependency map*), matriz de interações (*interaction matrix*), matriz de incidência (*incidence matrix*), matriz de precedências (*precedence matrix*) entre outras. Neste trabalho o termo utilizado será *Design Structure Matrix* (DSM).

Originalmente, o DSM foi conceituado como uma ferramenta que serve para identificar as dependências entre atividades e seqüenciar o processo de desenvolvimento (STEWART, 1981). Atualmente a ferramenta DSM é conceituada tanto como uma ferramenta de **Análises de Sistemas** como de

Gerenciamento de Projetos (DSMWEB, 2007), conforme apresentado na Figura 3:

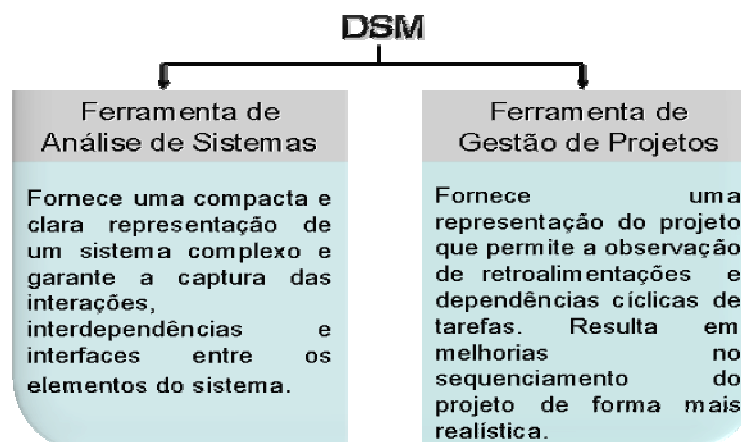


Figura 3: Objetivos do DSM

Browning (2001, p. 293) define que o DSM fornece “uma simples, compacta e visual representação de um sistema complexo, que suporta as soluções inovadoras em problemas decompostos e integrados”. A abordagem DSM auxilia o gerenciamento de projetos complexos de desenvolvimento por meio de um modelo que visualiza as trocas de informações entre as tarefas e que permite ao gerente do projeto representar importantes relacionamentos entre tarefas, com o objetivo de determinar uma melhor seqüência delas (YASSINE *et al.*, 2003; SMITH *et al.*, 1997). Ainda, tal ferramenta auxilia a análise de produção e a engenharia de sistemas (AUSTIN *et al.*, 1999).

Segundo Eppinger (2001), o DSM pode favorecer a identificação do quão bem o processo de desenvolvimento de produtos consegue antecipar a necessidade de retrabalho, ao explicitar as iterações programadas e as iterações não programadas. Para o autor, a ferramenta não somente auxilia a identificação dos problemas no processo do projeto, como também a solução dos mesmos.

Hao (2008, p.3) afirma que:

“sucesso no uso do método DSM é determinado por uma decomposição apropriada do sistema e pela acuracidade das informações de interdependências coletadas. Assim, é de suma importância o cuidadoso desdobramento do sistema em estudo, em significantes módulos que o representem”.

2.3.2 Representação – DSM’s Binárias e Numéricas

DSMs Binárias

A representação desses sistemas é realizada por meio de uma matriz quadrada, sendo a binária a mais comum (matriz preenchida somente com 0 ou 1, ou apenas 1 ou apenas “X”). Tal matriz é composta de m linhas e m colunas, n elementos não nulos, em que, fazendo-se um paralelo, m é o número de nós e n é o número de ligações em um diagrama de rede de um projeto. Cada linha e cada coluna representam um elemento (tarefa ou item) do sistema. Observa-se que matrizes binárias para modelagem de sistemas são práticas, pois podem representar a presença ou a ausência de relacionamentos entre pares de elementos do sistema, sendo que a grande vantagem é a sua compacta forma de visualização do mapa de elementos. A Figura 4 apresenta um exemplo de matriz binária.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	.		1							
B		.								
C	1	.								
D				.	1	1				
E					.	1		1		
F		1				.				
G		1					.			
H	1			1				.	1	
I			1			1			.	
J		1	1							.

Figura 4: DSM Binária (Adaptado de Eppinger, 2001)

A ordem em que os elementos apresentam-se dispostos na matriz indica o seu seqüenciamento lógico, marcações abaixo da diagonal principal da matriz representam informações repassadas aos próximos elementos. Marcações acima da diagonal principal indicam uma necessidade de informações de elementos anteriores à seqüência apresentada (retroalimentação – *feedback*), o que indica uma dependência do elemento a jusante com o elemento a montante. Em projetos, isso significa que tarefas anteriores necessitam ser repetidas ou retrabalhadas à luz da nova informação gerada pela tarefa posterior. Tal processo iterativo é comum na maioria dos projetos complexos atuais (EPPINGER, 2001).

Segundo Eppinger *et al.* (1994), existem três tipos básicos de relações de dependência entre elementos de um sistema: Relacionamento Paralelo, Seqüencial ou Serial e Conjugado (*Coupled*). A Figura 5 ilustra cada um deles.

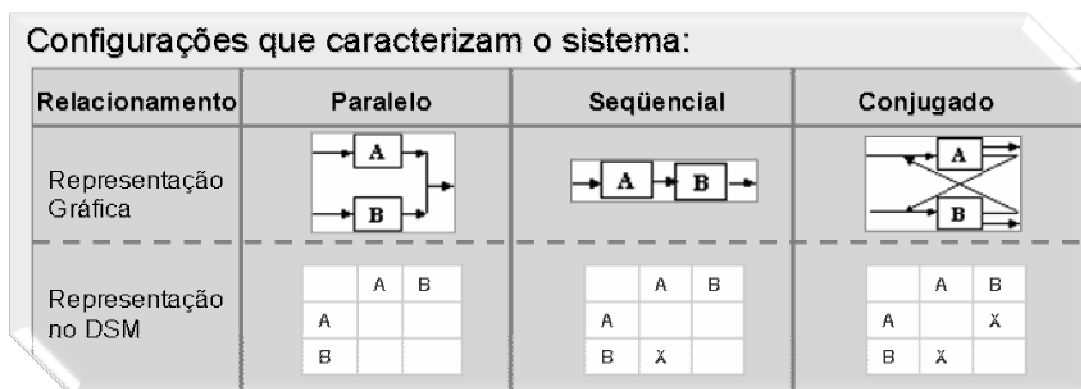


Figura 5: Tipos de Relacionamento entre tarefas

Na configuração paralela, os elementos do sistema não interagem. Para o caso de o sistema ser um projeto, os elementos do sistema seriam as tarefas a serem realizadas. Assim, nesse caso, uma determinada tarefa B é considerada independente da tarefa A, não existindo troca de informação entre elas.

Na configuração serial, um elemento influencia as características de outro elemento de um modo unidirecional. Assim, no caso de componentes de um sistema, o elemento B é selecionado baseado nos parâmetros do elemento A

do sistema. Ou, em projetos, a tarefa B deve ser realizada depois da tarefa A, uma vez que B necessita de informações de A para ser iniciada.

Por último, sistemas conjugados apresentam uma característica de interdependência, ou seja, A influencia B, assim como, B influencia A. Apresentam-se nesse caso as dependências cíclicas chamadas “Circuitos” ou “Ciclos de Informação” (DSMWEB, 2007).

DSMs numéricas

Comparado às DSMs binários (0 ou 1, “X” ou Vazio), as DSMs numéricas (NDSM) podem conter múltiplos atributos que fornecem informações detalhadas sobre o relacionamento entre os diferentes elementos do sistema, o que favorece seu melhor entendimento.

Steward (1981) sugere o uso de número em níveis (por exemplo 1, 3, 9) em vez do simples “X”. Tais níveis refletem a ordem na qual o *feedback* deve ocorrer, identificando-se sua importância.

Outro modo sugerido são as taxas de importância, que auxiliam a diferenciação do nível de importância entre as marcações. Por exemplo, 1 = alta dependência, 3 = média dependência e 5 = baixa dependência.

Alguns outros atributos dependem do tipo de DSM que está sendo utilizado (Ver item 2.3.4 para mais informações). Assim, as seguintes medidas podem ser utilizadas: força da dependência, volume de informação repassada, variabilidade da informação trocada (YASSINE *et al.*, 2003), probabilidade de retrabalho (SMITH *et al.*, 1997), força do impacto (BROWNING, 1998; CARRASCOSA *et al.*, 1998), entre outros.

Dessa forma, DSMs numéricas facilitam a discretização do relacionamento existente entre os elementos do sistema, além de garantir uma informação mais detalhada a respeito do relacionamento entre eles. Porém, a grande dificuldade observada deve-se à mensuração acurada do relacionamento, sendo minimizada por meio de métodos de identificação dos valores dos relacionamentos. Eppinger *et al.* (1994) sugerem dois métodos para identificar valores numéricos que representem as dependências entre tarefas. O primeiro

é a combinação dessa etapa com a etapa de levantamento dos dados do projeto, na qual as dependências são identificadas. Outro método é a realização de entrevistas com engenheiros diretamente envolvidos no processo, para apresentarem as relações de força nas tarefas ou elementos dos sistemas. Maheswari *et al.* (2006) apresentam um modelo para reduzir o tempo de estimação dos atributos de dependência de informação entre tarefas.

2.3.3 Princípios

Neste ponto do trabalho, é importante conceituar alguns princípios do processo planejar e projetar discutidos por Yassine *et al.* (2003) e que serão importantes para o entendimento do funcionamento da ferramenta DSM e de suas vantagens frente à atuação em sistemas complexos.

Segundo Yassine *et al.* (2003), o processo de tomadas de decisão em uma atividade de projetar (*design*) lida com um ambiente de situações complexas. Nessas atividades, suposições de conhecimento exato quase nunca são verdadeiras, apresentando-se um modelo conceituado como de racionalidade limitada (SIMON, 1957), uma vez que o projetista tem uma capacidade limitada de processamento de informação, e a informação é incerta, vaga e imprecisa. Os autores destacam que tais limitações podem surgir de diferentes maneiras:

“(...) o projetista pode não saber todas as alternativas e seqüências de decisão, ou mesmo assumindo que todas as condições são conhecidas, o projetista pode não estar apto para decidir a melhor seqüência de decisões; ou finalmente, o tempo e o custo de processar as melhores escolhas podem estar acima das limitações dos recursos disponíveis” (Yassine *et al.*, 2003, p.166).

Para Pich *et al.* (2002), a informação incerta é caracterizada por eventos de causalidade desconhecida e falta de conhecimento do ambiente (também chamada pelos autores de “ambigüidade”) do projeto e seus relacionamentos, ou por inabilidade de avaliar os efeitos de ações por causa do grande número

de variáveis que interagem (também chamada pelos autores de “complexidade”). Segundo eles, a inadequação da informação requer uma combinação de aprendizagem (capacidade de conduzir planejamentos novos e originais no meio do projeto) e seleção (execução em conjunto de múltiplas soluções candidatas até que a melhor dentre elas seja identificada).

Assim, dada a racionalidade limitada, Yassine *et al.* (2003) discutem quatro princípios para o processo de projetar, que podem impactar o processo da Aprendizagem e Seleccionismo apresentado por Pich *et al.* (2002): Princípio da Iteração, no qual a dinâmica do contexto leva a constantes retroalimentações no processo. Novas informações ficam disponíveis à medida que o processo avança, apresentando que cada iteração resulta em mudanças que podem propagar nos diversos estágios de desenvolvimento; Princípio do Paralelismo, no qual é dado que sistemas complexos devem ser “paralelizados” se um tempo curto de desenvolvimento é requerido. Caso contrário, há um dispêndio de tempo e recursos valiosos; Princípio da Decomposição, em que a evidência da racionalidade limitada torna necessária a decomposição do sistema em subsistemas mais facilmente gerenciáveis; Princípio da Estabilidade, no qual um sistema dito estável converge para um estado de equilíbrio para qualquer condição inicial. Um processo de desenvolvimento de produtos é dito estável se o número total de problemas de projetar (*Design problems*) que está sendo resolvido se mantiver limitado enquanto o projeto evolui no tempo.

Princípio da Iteração

Algumas das iterações existentes em projetos e sistemas são previsíveis e podem ser planejadas, e outras são imprevisíveis e impossíveis de se antecipar. Desse modo, o fenômeno da iteração é inerente à natureza do processo de projeto. As iterações previsíveis são aquelas que ocorrem quando uma tarefa é realizada mesmo quando uma informação predecessora não está disponível ou conhecida (YASSINE *et al.*, 2003). Assim que a informação se torna disponível, a atividade é repetida para verificar se a estimativa inicial estava correta ou se será necessário uma nova iteração. Já as iterações imprevisíveis ocorrem quando uma tarefa deve ser repetida dado que uma falha inesperada ocorreu. Tal falha ocorre geralmente durante a execução dos

testes ou com uma mudança do requisito do cliente, sendo, portanto, não planejadas ou inesperadas (YASSINE *et al.*, 2003).

De acordo com Yassine *et al.* (2003), a DSM é capaz de auxiliar ambos os tipos de iteração, uma vez que facilita a visualização das duas situações. No caso de iterações previsíveis, o gerente do projeto deve facilitar o fluxo de informações envolvido na iteração. Já nas iterações não previsíveis, os gerentes devem implementar ações para diminuir a probabilidade de sua ocorrência.

Princípio da Sobreposição (Paralelismo)

O princípio da sobreposição de tarefas é a busca por uma solução de sobreposição que minimize o tempo total de desenvolvimento. Deve-se atentar para o *trade off* existente entre a magnitude do paralelismo de um conjunto de tarefas e a probabilidade de existir um retrabalho devido à inconsistência da informação inicial utilizada para a realização de determinada tarefa (e que demandava informações de tarefas antecessoras que ainda não haviam sido finalizadas). Assim, o retrabalho é função da variabilidade da informação utilizada pela tarefa existente entre sua forma inicial e final. Quanto maior a sobreposição de tempo entre tarefas antes seqüenciais, maior a probabilidade de que a informação que será gerada pela tarefa a montante se modifique (YASSINE *et al.*, 2003).

Duas características são de importância para o princípio: variabilidade da informação gerada a montante e sensibilidade da tarefa a jusante devido a modificações na informação gerada a montante. Existindo uma alta sensibilidade da tarefa, uma pequena modificação na informação de entrada causa um grande impacto no resultado final da tarefa. Já a variabilidade é a possível variação do valor estimado da informação em relação a seu valor real (YASSINE *et al.*, 2003).

Normalmente, a sobreposição de tarefas antes seqüenciais é vantajosa quando existe uma baixa variabilidade da informação e baixa sensibilidade da tarefa a jusante em relação à informação de entrada (YASSINE *et al.*, 2003). A DSM

auxilia a identificação das oportunidades de sobreposição de tarefas, uma vez que mapeia tais tipos de relação.

Princípio da Decomposição e Integração

Com o intuito de reduzir a complexidade tecnológica de desenvolvimento de determinados produtos, o esforço do desenvolvimento pode ser dividido entre diferentes times, dado que nenhum time por si só consegue atuar em todo o processo. Assim, existe a divisão do sistema em subsistemas gerenciados por times de desenvolvimento especialistas, que trabalham de forma simultânea e interagem continuamente (YASSINE *et al.*, 2003).

A DSM pode ser desenvolvido para explicitar as interações físicas entre os componentes da estrutura de forma a apresentar a decomposição e a integração do sistema e facilitar uma melhor tomada de decisão de arquitetura do sistema. A comunicação entre os diferentes times de desenvolvimento pode também ser criada e explicitada, usando-se a DSM baseada em times, com o objetivo de melhor definir e alocar as pessoas e os times de desenvolvimento (YASSINE *et al.*, 2003).

Princípio da Convergência (Estabilidade)

Refere-se ao entendimento da dinâmica da decomposição e busca as condições para que o número de problemas do projeto diminua e se mantenha aceitável dentro do tempo e dos recursos disponíveis. De acordo com Yassine *et al.* (2003), um projeto complexo de desenvolvimento é subdividido em subsistemas para ser gerenciado por times de desenvolvimento (conforme explicação anterior). Os times do sistema são responsáveis por garantir a troca de informação entre os diversos times e as tarefas de sua responsabilidade. Dado que mudanças posteriores no projeto são caras, os integradores do produto (times do sistema) não podem atrasar suas decisões até a finalização de todas as atividades do projeto, ou seja, eles devem continuamente checar os componentes não finalizados de forma a obter e repassar as informações já adquiridas (ou gerar novas) para as atividades que demandam tais informações.

Durante o andamento da atividade de projeto, o número de problemas abertos é reduzido com o recebimento de novos *feedbacks* e novas informações e, ainda, problemas anteriormente resolvidos são reabertos e reavaliados, ou novos problemas são criados. O ciclo se repete até que todos os problemas sejam resolvidos. Tal ciclo oscilatório foi conceituado como “*design churn*” por Yassine *et al.* (2003) no artigo “*Information hiding in product development: the design churn effect*”.

Assim, segundo ele, as condições pelas quais o número total de problemas do design (associadas com o sistema como um todo e com tarefas específicas) converge para zero, enquanto o tempo de desenvolvimento avança, são fornecidas por meio da análise de um conjunto particular de autovalores do sistema. Se a maior magnitude dos autovalores é menor do que um, então o sistema é estável e o processo de desenvolvimento converge (YASSINE *et al.*, 2003).

2.3.4 As diferentes versões da DSM

Conforme já explicitado, a DSM pode ser utilizada em diversos contextos de problemas complexos, como o desenvolvimento de produtos, gestão de projetos, planejamento de projetos, engenharia de sistemas e projeto organizacional. Assim, observa-se que a DSM evoluiu em seu conceito estritamente voltado para identificar as dependências entre atividades e seqüenciar o processo de desenvolvimento para um conceito mais amplo de análise de sistemas.

Apresentam-se neste trabalho dois tipos principais de categorias de DSM, sendo elas a Estática e a Baseada no Tempo (BROWNING, 2001). A matriz DSM estática representa elementos de um sistema que se apresenta simultaneamente, como grupos em uma organização ou componentes de uma arquitetura de produto, não sofrendo variação das informações com o tempo. São usuais as análises de *clusters* para esse caso, como é referido na literatura (mais detalhes no tópico 2.3.8). Já nas DSMs Baseadas no Tempo, apresenta-se a indicação de fluxo no tempo, mediante a ordenação das linhas

e das colunas. As atividades a montante precedem as atividades à jusante na matriz, surgindo os termos relativos à transferência de dados ou informações como *feedbacks* e *feedforward*. Algoritmos de seqüenciamento são usuais nesses casos (detalhes no tópico 2.3.8). O esquema apresentado na Figura 6 a seguir explicita as diferentes DSMs.

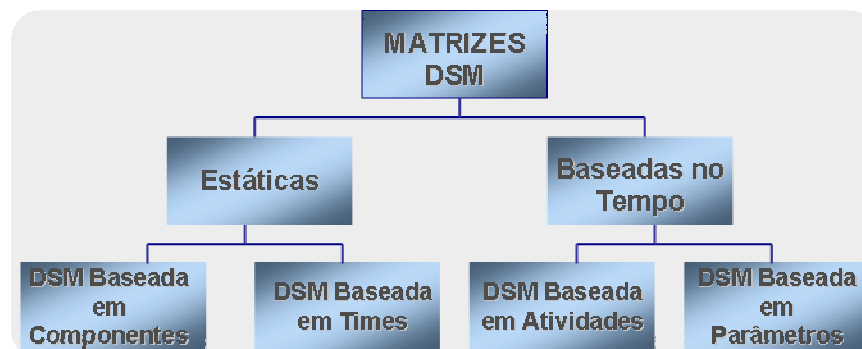


Figura 6: Taxonomia DSM (BROWNING, 1999 apud BROWNING, 2001)

2.3.4.1 Modelagem de arquiteturas de sistemas com DSM baseadas em componentes

A ferramenta DSM pode ser usada para representar a arquitetura de sistemas em termos do relacionamento entre componentes do sistema. A idéia é a realização da decomposição do sistema em subsistemas de forma a facilitar o gerenciamento da complexidade do sistema (ALEXANDER, 1964 apud BROWNING, 2001). De acordo com Browning (2001), “o pré-requisito para a inovação é o entendimento, que pode ser incrementado por meio do uso de modelos representativos – neste caso, preferencialmente os que esclarecem as interfaces e interações entre componentes do sistema”.

Browning (2001) afirma também que todo projeto de desenvolvimento de um sistema complexo envolve os seguintes passos: 1 – decomposição do sistema em elementos; 2 – entendimento e documentação das interações entre os elementos (sua integração); 3 – análise da potencial reintegração dos elementos (análise de integração).

Existem quatro tipos principais de DSMs baseados em componentes - de acordo com seu tipo de interação (EPPINGER; PIMMLER, 1994) conforme a Figura 7 a seguir:

Espacial	Associações de espaços físicos e alinhamento, necessidade de adjacência ou orientação entre dois elementos
Energia	Necessidade de transferência ou troca de energia entre dois elementos (ex. Fornecimento de Energia)
Informação	Necessidade de troca de dados ou sinais entre dois elementos
Material	Necessidade de troca material entre dois elementos

Figura 7: Taxonomia simples de interações entre elementos do sistema (Eppinger; Pimmler, 1994)

DSMs baseadas em componentes – relacionamento do tipo espacial – nas quais é verificada a relação de necessidade de compartilhamento físico de espaço, proximidade ou alinhamento entre dois elementos do sistema. Relacionamento do tipo Energia, no qual é verificada a relação de necessidade de troca de energia entre elementos do sistema em estudo. Relacionamento do tipo Informação, no qual é verificada a necessidade de trocas de informações entre elementos do sistema e Relacionamento do tipo Material, em que é verificada a necessidade de troca de elementos físicos ou matéria entre dois elementos estudados do sistema.

Ainda, para diferenciar o nível de interação entre os elementos, pode-se dar pesos relativos, como na tabela apresenta da pela Figura 8 a seguir (Eppinger; Pimmler, 1994):

Requerida	+2	Adjacência física é necessária para o funcionamento
Desejada	+1	Adjacência física é benéfica, mas não necessária para funcionamento
Indiferente	0	Adjacência física não afeta a funcionalidade
Indesejada	-1	Adjacência física causa efeitos negativos mas não impede a funcionalidade
Maléfica	-2	Adjacência física deve ser evitada para se obter a funcionalidade

Figura 8: Exemplo de uma quantificação das interações em uma matriz com interações do tipo espacial (Eppinger; Pimmler, 1994)

As análises de decomposição e integração dos sistemas por meio do DSM podem ser realizadas por algoritmos de clusterização que visam reorganizar as linhas e colunas da matriz de forma a maximizar as interações existentes dentro de cada cluster formado e minimizar as interações existentes entre eles. É também sugerida a diminuição de cada cluster (BROWNING, 2001). De acordo com o autor, “um algoritmo de clusterização deverá considerar a importância de se eliminar (ou diminuir) as interações que são desfavoráveis ao sistema e garantir os relacionamentos positivos do mesmo”.

Eppinger e Pimmler (1994) utilizaram-se da matriz DSM baseada em componentes para identificar alternativas de arquitetura de produto (sistema de controle de temperatura de carros da Ford Motors Company) de forma a melhorar o design do produto resultante, considerando as interações entre os elementos do sistema.

A análise de integração com o DSM promove inovações arquiteturais ao apresentar a racionalidade por trás das decisões de projeto da arquitetura, além de favorecer a modularização de componentes, que potencializa o desenvolvimento de produtos (BROWNING, 2001).

2.3.4.2 Modelagem de integração organizacional por meio do uso da DSM baseada em times

Considerando-se que as organizações são sistemas muito complexos que apresentam intensas trocas de informações entre os vários grupos ou equipes que a compõem, e que são essas trocas que garantem o valor da empresa, torna-se importante o entendimento das interações que as permeiam. Assim, um melhor entendimento das interfaces organizacionais suporta a aplicação de mecanismos integrativos (BROWNING, 2001).

De acordo com Browning (2001), modelar a organização como um sistema requer os seguintes passos: 1- decompor a organização em elementos (por exemplo, times), com seus papéis específicos, funções e responsabilidades; 2 – documentar as interações entre os times; 3 – analisar a clusterização dos times em “metatimes³”.

O objetivo da análise de integração nesse caso é semelhante ao do DSM baseado em componentes, observando-se que os metatimes deverão ser formados levando-se em consideração a maior frequência de troca de informações entre os times, e as interações dentro de cada time/metatime (cluster) deverão ser maximizadas, bem como as interações entre os times/metatimes, minimizadas (BROWNING, 2001). A DSM baseada em times auxilia a análise organizacional e o projeto do fluxo de informação entre as várias entidades que compõem as equipes de desenvolvimento. Ele é construído a partir da identificação do fluxo de comunicações requeridas, e as mesmas são representadas por meio de conexões entre as entidades organizacionais representadas na matriz.

É importante especificar e caracterizar os tipos de fluxo de informação. Como por exemplo a Figura 9 abaixo:

³ Um metatime tipicamente consiste de 2 a 3 times que se interagem dentro de uma limitação de tempo e mutuamente se auxiliam através da troca de habilidades, dados e mão de obra (Wasserman *et al.*, 1994).

<u>Tipo de Fluxo</u>	<u>Possíveis Matrizes</u>
Nível de Detalhe	Disperso (Documentos, e-mail) ao Concentrado (Modelos, Face-a-Face)
Freqüência	Baixa (quantidade e momento definidos) ao Alto (on-line, real)
Direção	Unidirecional ao Bidirecional
Temporal	Cedo (Preliminarmente, Incompleto, Parcial) ao Atrasado (Final)

Figura 9: Caracterização do Fluxo de Informação entre Times (DSMWEB, 2007)

Eppinger e McCord (1993) utilizaram a matriz DSM baseada em times para analisar uma organização de desenvolvimento de motores automotivos. Eles identificaram a freqüência e a direção do fluxo de informação entre os times de desenvolvimento no projeto e, utilizando-se de clusterização, reorganizaram os times de forma a melhor integrá-los.

Assim, o DSM é uma ferramenta de representação efetiva para modelagem dos elementos organizacionais e seus relacionamentos. A análise de integração do DSM é realizada por meio de abordagens de clusterização, fornecendo-se assim alternativas de organização estrutural, além de gerar melhoria do entendimento da organização e favorecimento da inovação. De acordo com Browning (2001, p. 296), “(...) a construção do DSM incentiva pessoas e equipes díspares a aumentar o conhecimento mútuo e a compreensão do sistema”.

2.3.4.3 Modelagem de processos baseados em fluxo de informações por meio do uso da DSM baseada em atividades

Para que se consiga realizar qualquer melhoria em processos, é de suma importância seu entendimento efetivo (WHITNEY, 1990). Ainda se deve observar que a arquitetura do processo influencia diretamente sua eficiência e

sua eficácia (BROWNING, 2001), além de ser uma importante fonte de vantagem competitiva (HIPPEL, 1990).

O entendimento do processo pode ser realizado mediante o uso de modelos para a decomposição do processo em tarefas e a consequente exposição das interfaces e inter-relações entre elas (BROWNING, 2001). O autor observa que estão nas interfaces a fonte da vantagem obtida por uma empresa e o principal foco de melhorias.

É importante lembrar que diversos autores têm considerado realizar o entendimento do fluxo de processos de desenvolvimento de produtos e projetos de forma geral, como um fluxo de processamento de informações, em que as atividades adquirem e modificam informações para produzir novas informações (BURNS; STALKER, 1961; CLARK; WHEELWRIGHT, 1993; EPPINGER; ULRICH, 2000; EPPINGER, 2001; WHITNEY, 1990).

Assim, ao considerar que num processo de desenvolvimento do projeto existem diversas tarefas conjugadas, uma falta de informação ou uma modificação da informação que é utilizada pelas tarefas interdependentes pode causar retrabalho.

A DSM baseada em atividades é uma ferramenta que auxilia a visualização e a análise de tais questões. “A DSM baseada em atividades primeiro descreve as relações de entrada e saída entre as atividades, apresentando a estrutura de dependência de um processo baseado em um fluxo de informações. Então, a DSM rearranjada pode fornecer uma melhoria na arquitetura do processo, garantindo que a informação seja criada no momento certo e as interações ineficientes sejam minimizadas” (BROWNING, 2001, p.297). Analisando-se a estrutura da dependência de informações, é possível desenvolver estratégias direcionadas para curtos ciclos de projeto e melhoria da qualidade. Segundo Denker *et al.* (2001), o DSM auxilia a decidir o que assumir, e como e quando planejar revisões do projeto. Ao começar o planejamento de projetos com a dependência de informações em vez de começar utilizando-se da dependência de tarefas, pode-se fazer um melhor *trade off* entre premissas e tarefas.

De acordo com Browning (2001), o DSM permite uma fácil visualização do processo, o entendimento de um impacto de mudanças de uma informação de saída de uma determinada tarefa em outra tarefa, facilita o gerenciamento de interfaces. Ainda auxilia na identificação de tarefas que podem ser realizadas em paralelo, de forma a acelerar o projeto sem causar aumento de interações, e auxilia a melhoria do processo, bem como a eliminação de falhas (DSM, por exemplo, é uma importante ferramenta para o FMEA). De acordo com o autor,

“alguns projetos embasam seus planos de trabalho nos conjuntos de atividades, nunca formalizando as informações de saída que as atividades geram. Examinar a informação realmente necessária para se chegar a um resultado final do projeto em um DSM baseado em atividades pode ajudar a esclarecer as atividades não essenciais ou alguns aspectos das atividades. Projetar o projeto do processo utilizando-se o fluxo de informações necessário, mais do que entre interações entre atividades, pode eliminar atividades que não adicionam valor e garantir um projeto mais enxuto” (BROWNING, 2001, p.300).

A modelagem de um processo utilizando-se a DSM segue as seguintes etapas: 1 – decomposição do processo em atividades; 2- documentação do fluxo de informação entre as tarefas (e a sua integração); 3 – análise do seqüenciamento de tarefas em um fluxo maximizador de informações do tipo “repassadas para frente” (*maximally-feed-forward process flow*) (BROWNING, 2001).

Browning (2001) apresenta que a DSM é construída por meio do conhecimento das pessoas que estão diretamente envolvidas no processo. Ainda apresenta que podem ser construídas duas DSMs para representar o processo: uma voltada especificamente para o fluxo de informações de entrada (perspectiva do “fornecedor”), e outra voltada para o fluxo de informações de saída (perspectiva do “consumidor”). Assim, o simples entendimento e visualização do processo já é uma fonte potencial para melhorias, dado que tal atividade força as pessoas e os times (que executam as tarefas) a concordarem com as interfaces existentes e as entregas de cada tarefa.

Como exemplo de uma matriz DSM baseada em atividades (de A a L), pode-se observar a matriz na Figura 10 apresentada por Eppinger *et al.* (1994):

	B	C	A	K	L	J	F	I	E	D	H	G
B	*											
C	X	*										
A		X	*									
K	X	X		*								
L			X	X	*	X	X					
J	X	X		X	X	*	X					
F	X				X		*					
I			X			X	X	*				
E				X		X			*	X		
D					X	X			X	*		
H			X	X			X		X	X	*	
G	X			X								*

Figura 10: Matriz binária de estrutura de projeto, particionada para representar a seqüência (EPPINGER *et al.*, 1994, p.3)

A seqüência do processo seqüenciado é B-C-A-K-L-J-F-I-E-D-H-G e foi realizada por meio de um algoritmo de identificação de blocos de atividades conjugadas de forma a atingir um seqüenciamento mais organizado. Observa-se que entre as tarefas B e C existe um relacionamento **serial**⁴, uma vez que a tarefa C depende de informações da tarefa B. Porém, B não depende de informações de C. Já entre as tarefas K e A, existe uma relação de paralelismo, uma vez que ambas não trocam informações entre elas, podendo desse modo ocorrer de forma simultânea. Por último, as atividades L-J-K-I e E-D-H formam um bloco de atividades conjugadas. Dentro dos blocos, existe uma mutua troca de informações e uma relação de interdependência (EPPINGER *et al.*, 1994).

Eppinger *et al.* (1994) expandem a representação básica do modelo apresentado por Steward (1981), ao incluir medidas de níveis de dependência e duração das tarefas para realizar uma análise mais sofisticada de forma a implementar melhorias no processo de planejamento do projeto. O autor desenvolveu um esquema simples de quatro níveis que trabalha bem a

⁴ Para maiores detalhes, Smith avaliou situações considerando projetos com somente atividades em série (SMITH *et al.* 1997a), somente atividades em paralelo (SMITH *et al.*, 1997b) e considerando ambos os casos num projeto (SMITH *et al.*, 1998). Esses modelos analisam o tempo de ciclo do projeto e elucidam quais atividades contribuem mais para a convergência do projeto.

quantificação da dependência de informações de entrada em cada tarefa: nível alto, quando a informação é requerida para começar a tarefa; nível médio, quando a informação é requerida para terminar a tarefa; nível baixo, quando a informação é necessária somente para checar a compatibilidade dos resultados; nível zero, quando não há necessidade de informação. Ainda sugere que outros parâmetros poderiam ser utilizados, como tempo de comunicação entre tarefas, características vibratórias ou elétricas, variância histórica dos resultados da tarefa, certeza relativa das estimativas planejadas, volume de informação transferida, entre outros.

Browning (2001) apresenta as seguintes limitações para a DSM baseada em atividades: 1- a DSM apresenta apenas um único fluxo de processo, não apresentando todos os possíveis caminhos; 2 – análises e melhorias de projetos com diversas tarefas são impraticáveis sem a utilização da simulação.

2.3.4.4 Análise de integração de atividades que determinam uma projeção detalhada dos parâmetros com o uso da Matriz DSM baseada em parâmetros

A diferença básica existente entre a DSM baseada em atividades e a DSM baseada em parâmetros é o nível da análise. Na última, a idéia é o entendimento dos parâmetros que constituem o nível mais detalhado do processo do projeto e suas interações de forma a obter informações importantes para a melhoria do processo (reduzir o tempo do projeto). Ainda, enquanto a DSM baseada em atividades modela o processo de desenvolvimento, a DSM baseada em parâmetros meramente documenta as relações físicas entre os parâmetros que determinam o projeto (BROWNING, 2001).

A mesma taxonomia de diferenciação do nível de interação entre os componentes do sistema (ver item 2.3.4.1) pode também ser utilizada para o caso do DSM baseado em componentes (EPPINGER; PIMMLER, 1994).

Como exemplo de aplicação, Black *et al.* (1990) aplicaram a ferramenta para realizar uma análise do projeto de sistema de freio de automóvel. O autor

auxiliou a empresa a identificar uma abordagem sistemática de planejamento de processos em nível detalhado (*low-level design process planning*).

2.3.5 Relação entre sistemas

A Tabela 2 a seguir apresenta o resumo dos quatro tipos de DSM discutidos, as aplicações e o tipo de análise de integração.

	Tipo de DSM	Representação	Aplicações	Melo de Análise de Integração
Estático	DSM Baseado em Componentes	Componentes em uma arquitetura de produtos e seus relacionamentos	Arquitetura de sistemas, de engenharia, projetos, etc.	Clusterização
	DSM Baseado em Time	Indivíduos, grupos ou times em uma organização e seus relacionamentos	Projeto de Organização, gerenciamento de interfaces, aplicação de mecanismos integrativos	
Dinâmico	DSM Baseado em Atividades	Atividades em um processo e suas entradas e saídas	Planejamento de projetos, sequenciamento de atividades, redução do tempo de ciclo, redução de riscos, etc.	Seqüenciamento
	DSM Baseado em Parâmetros	Parâmetros para determinar o projeto e seus relacionamentos	Seqüenciamento de nível detalhado do processo (<i>low level process</i>) e integração	

Tabela 2: Sumário das características dos tipos de DSM (BROWNING, 2001)

Em seu artigo, Browning (2001) apresenta a relação entre três tipos de sistemas: produtos, processos e organizações (ver Figura 11). A arquitetura do produto tem uma grande influência na definição de uma apropriada estrutura organizacional de desenvolvimento de produtos. A facilidade da divisão e integração organizacional possui relação direta com a natureza da decomposição do produto, ou seja, com a sua arquitetura. Assim, uma estrutura organizacional rígida pode restringir potenciais alternativas diferenciadas de arquitetura de produtos (BROWNING, 2001).

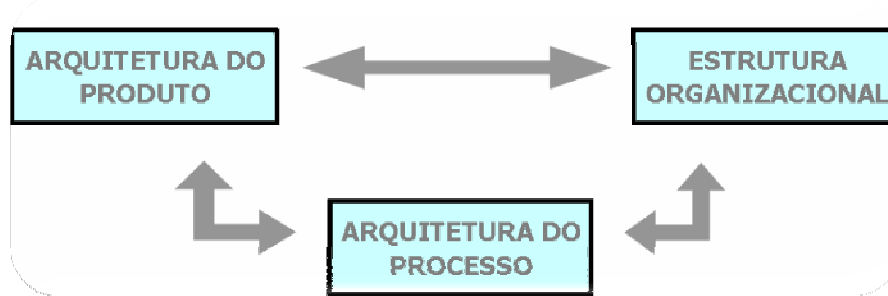


Figura 11: Relacionamento entre as arquiteturas de produto, processo e organização (BROWNING, 2001)

Já a arquitetura do produto possui relação direta com o processo que irá desenvolvê-lo. Assim, se uma arquitetura de produto prevê uma modularização e produção em separado, a arquitetura do processo deverá permitir a troca de informações entre as tarefas.

Por último, a arquitetura do processo apresenta relação com a arquitetura organizacional, como na identificação de interações entre entidades organizacionais, como os times, por meio do entendimento do processo de desenvolvimento (MORELLI *et al.*, 1995 *apud* BROWNING, 2001).

A DSM, em seus diversos modos de aplicação, pode auxiliar no entendimento do relacionamento entre as estruturas apresentadas (produto, processo e organização) e levar à melhoria de processos, ao auxiliar a comparação das diversas alternativas de configuração das estruturas.

2.3.6 Operacionalização do DSM

O sucesso do modelo DSM é determinado pela decomposição apropriada e exata dos relacionamentos de dependência coletados. É vital decompor cuidadosamente o sistema estudado em elementos significativos, os chamados subsistemas e módulos (HAO, 2008). A identificação dos elementos, bem como as relações de dependência de informação entre eles é uma tarefa difícil, especialmente para novos projetos. Um significativo comprometimento, tempo e interatividade são requeridos de grupos especialistas de forma a chegar a

uma lista de atividades e dependência de informações (MAHESWARI *et al.*, 2005).

Para a decomposição, Yassine (2003) sugere uma abordagem híbrida, onde uma DSM inicial é construído a partir de uma documentação já existente (manuais de projeto, formulários de processos, calendários de projetos, modelos IDEF, entre outros), para então realizar um aperfeiçoamento da matriz por meio de entrevistas com *experts*. A Figura 12 apresenta o esquema para a construção da DSM.

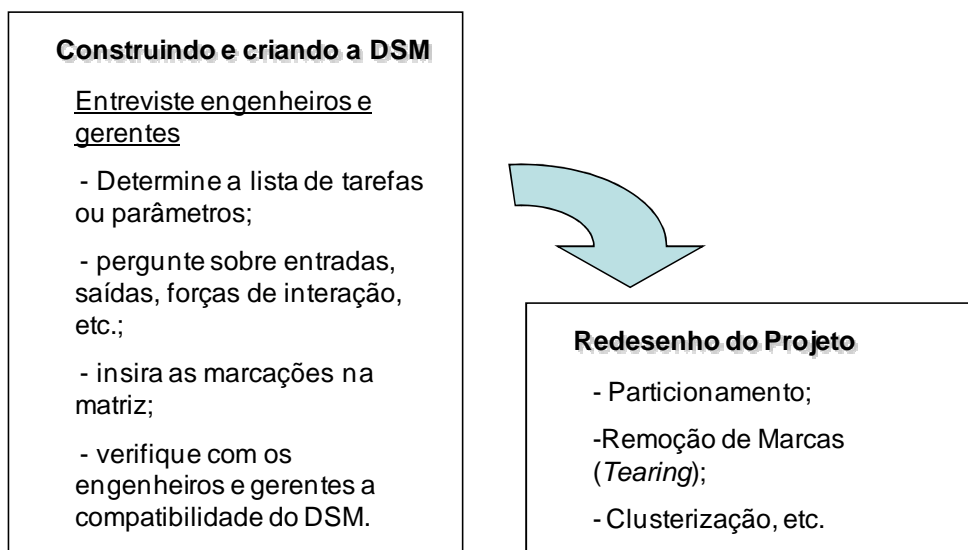


Figura 12: Passos para construção do DSM

Após os elementos apropriados do sistema ou um conjunto de atividades que compreendem o projeto forem identificados, os mesmos são listados na DSM como identificações de linhas e colunas na mesma ordem, a partir do vértice superior esquerdo. Os elementos dentro da matriz são identificados, pedindo ao responsável no grupo com maior conhecimento sobre o projeto para atribuir o mínimo de parâmetros que influenciem esse subsistema e contribuam para seu comportamento. Na DSM baseada em tarefas, isso pode ser o conjunto mínimo de atividades que precisam ser executadas antes de a atividade em questão ser iniciada.

Em (DSMWEB, 2007) os seguintes passos para construção da Matriz são propostos:

- Entrevistar engenheiros e gerentes;
- determinar a lista de tarefas ou parâmetros;
- questionar aos engenheiros/*experts* sobre as entradas, saídas e as forças das interações;
- inserir marcas na matriz ou pesos das relações;
- solicitar aos engenheiros e gerentes que verifiquem a DSM.

Conforme a matriz apresentada pela Figura 13, segundo Browning (1998), pode-se observar que as dependências entre os elementos são assinaladas com uma marca na interseção dos elementos que se correspondem. Nesse caso, todas as dependências apresentadas são de nível 1 - Dependência Forte e Essencial.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	1											
B		1										
C			1									
D				1	1							1
E					1		1				1	
F			1			1						1
G							1				1	
H	1			1				1		1	1	
I					1				1			
J			1	1						1		1
K			1	1							1	
L	1									1	1	1

Figura 13: DSM inicial de um projeto hipotético (BROWNING, 1998)

A leitura da linha indica quais elementos são fornecedores de informação para o elemento que está na linha foco de observação. Assim, o elemento H deve receber informações de A, D, I e K, conforme a Figura 14:

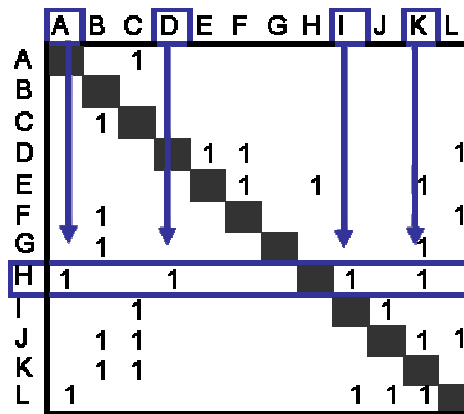


Figura 14: Elementos que fornecem informações ao elemento H (Adaptado de Browning (1998))

De maneira análoga, a leitura de determinada coluna indica quais elementos irão receber as informações geradas pelo elemento correspondente à coluna foco. Assim, pode-se observar pela Figura 15 que o elemento E fornece informações apenas para o elemento que está na linha D.

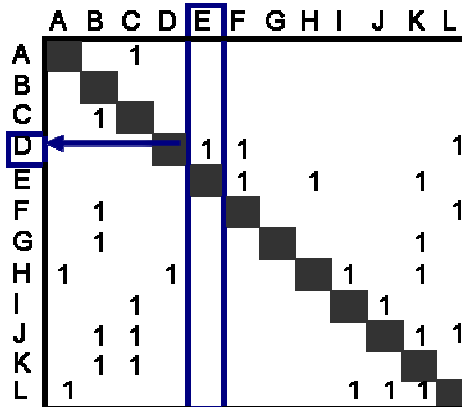


Figura 15: Elementos que recebem informações do elemento E (Adaptado de Browning (1998))

Observa-se que nesse exemplo os elementos J e L são interdependentes (ou conjugadas), uma vez que J fornece informações para L, e L fornece informações para J.

2.3.7 Análise da matriz de DSM

A partir da Figura 16 pode-se classificar 3 áreas de importância na matriz, como segue:

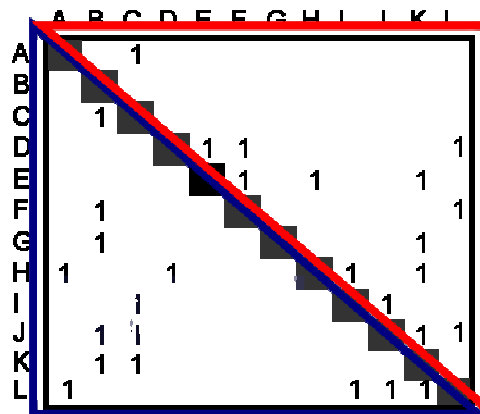


Figura 16: Principais áreas do DSM (Adaptado de BROWNING, 1998)

Diagonal Principal: Área onde temos os elementos $A [i,j]$, $i = j$, ou seja, área onde se apresenta a relação nula do elemento com ele mesmo.

Área abaixo da diagonal – Área de Alimentação – Onde $A [i,j]$, $i > j$, indicando que as precedências das atividades ocorrem em ordem cronológica direta.

Área acima da diagonal – Área de Retroalimentação – Onde $A [i,j]$, $i < j$, indicando que as precedências das atividades ocorrem em ordem cronológica invertida. Nesse caso, o elemento “i” da linha necessita de informações de elementos que não ocorreram. Assim, informações faltosas deverão ser estimadas e posteriormente revistas para adequação. No contexto das matrizes baseadas em atividades, podemos dizer que haverá um retorno a uma atividade já anteriormente executada. Isso significa que a atividade posterior terá que ser executada novamente após receber novas informações. A diminuição dessa necessidade de estimativas pode ser eliminada ou minorada pelo reordenamento da matriz, de tal forma que as marcas fiquem abaixo da diagonal ou o mais perto possível entre elas, como será apresentado no próximo tópico.

Segundo Manzione (2006), as inter-relações entre os elementos conjugados é o que causa os ciclos interativos. Tais ciclos ocorrem com certa frequência em projetos e requerem um esforço adicional para o gerenciamento (comunicação, negociação, etc), podendo impactar os custos e o prazo do projeto.

2.3.8 Otimização da DSM

Existem diversos métodos e técnicas para a otimização da DSM. Entende-se por otimização o processo de rearranjo da matriz de forma estruturada e que atenda ao objetivo de melhoria da troca de informação entre os elementos da matriz. Observa-se nesse ponto a separação dos tipos de análise de otimização de acordo com o tipo de elemento na matriz. Conforme apresentado na figura a seguir, as DSMs baseadas em Componentes e em Times (DSMs Estáticas) são otimizadas por meio de técnicas de cluster, uma vez que o objetivo é a garantia de uma organização estruturada dos elementos do sistema. Já as DSMs baseadas em Atividades e Parâmetros (DSM baseadas no tempo), o objetivo passa a ser uma definição da seqüência ótima para a execução dos elementos, sendo empregadas as técnicas de Seqüenciamento (Ver Tabela 3).

Algoritmos/DSM	Baseada em Componentes	Baseada em Times	Baseada em Atividades	Baseada em Parâmetros
Clusterização	X	X	-	-
Seqüenciamento	-	-	X	X

Tabela 3: Comparação entre tipos de DSMs e algoritmos (BROWNING, 2001)

Seqüenciamento

A otimização de uma matriz DSM baseada no tempo é a minimização dos *feedbacks* por meio da reestruturação ou “rearquiteturação” do processo como, por exemplo, por meio de re-seqüenciamento de linhas e colunas da matriz. Tal minimização visa combater o efeito do trabalho dentro de um projeto, diminuindo as marcações que estão na “área de retroalimentação”. Essa

atividade inicial é conhecida também como particionamento, bloco-diagonalização, ou bloco-triangularização e requer algoritmos específicos para a sua realização e formação, com um menor número de marcações na diagonal superior, ou o mais próximo possível da diagonal da matriz, e agrupadas em blocos (BROWNING, 2001).

Os blocos conjugados identificados a partir do particionamento da DSM podem apresentar diversas opções para a execução do processo. De forma a encontrar a solução mais viável, apresentam-se as seguintes possibilidades:

Agregação – Agregar duas ou mais tarefas em uma única tarefa, de forma a reduzir as marcações na diagonal inferior e simplificar a DSM, porém tal opção pode esconder potenciais pontos de melhoria no processo;

Decomposição – Atua de maneira inversa ao processo de Agregação. Decompor atividades conjugadas pode revelar caminhos para agregar atividades no mais baixo nível, possibilitando a eliminação de *feedback*;

Remoção de Marcas - “*Tearing*” – Apresentada por Steward (1981), a técnica procura identificar relações de dependência fracas entre tarefas e eliminá-las sucessivamente, de forma a garantir que nenhuma marcação representado o *feedback* exista nos blocos de atividades conjugadas (BROWNING, 2001).

Clusterização

As análises de decomposição e integração dos sistemas por meio da DSM podem ser realizadas por meio de algoritmos de clusterização que visam reorganizar as linhas e colunas da matriz de forma a maximizar as interações existentes dentro de cada cluster formado e minimizar as interações existentes entre eles. É também sugerida a diminuição de cada cluster (BROWNING, 2001). De acordo com o autor, “um algoritmo de clusterização deverá considerar a importância de se eliminar (ou diminuir) as interações que são desfavoráveis ao sistema e garantir os relacionamentos positivos do mesmo” (BROWNING, 2001,p.294).

Quando os elementos da matriz DSM são pessoas ou equipes responsáveis por etapas do desenvolvimento, ou são componentes ou subsistemas de um complexo sistema, então o objetivo da DSM passa a ser encontrar os melhores subconjuntos dos elementos da DSM (clusters), que apresentam alta interação interna ao agrupamento (entre as tarefas que o compõem) e baixa interação entre os agrupamentos. Tal processo é chamado de clusterização (FERNANDEZ, 1998; SHARMAN; YASSINE, 2003; YU *et al.*, 2003).

O objetivo de agrupamento é então consolidar grupos de elementos em blocos, pois: (i) facilita na distribuição do trabalho; (ii) garante o trabalho em equipes menores e mais concentradas e (iii) o custo de uma interação entre membros de um mesmo grupo é menor que entre membros de grupos diferentes (DSMWEB, 2007).

2.4 Comunicação em projetos

A comunicação é comumente referenciada como um dos fatores mais importantes no Desenvolvimento de Produtos e Gerenciamento de Projetos. Estudos mostram a efetividade de times com altos níveis de comunicação, favorecendo o processo de inovação (BATALLAS *et al.*, 2006). Segundo Sosa *et al.* (2002), grupos de trabalho com altos níveis de comunicação são mais bem sucedidos no processo criativo da inovação. Assim, os gerentes devem focalizar a criação de estruturas que facilitem a troca de informações e garantam a comunicação e o conseqüente repasse de informação.

Existem três tipos principais de comunicação e repasse de informações entre tarefas em organizações focadas em Inovação e Gerenciamento de Projetos (ALLEN, 1978; JEONG *et al.*, 2001; NEWMAN, 2001):

- 1) Tipo Coordenação: refere-se às informações técnicas que são trocadas (como parâmetros), necessárias para integrar a montagem final do produto;
- 2) Tipo Conhecimento (inovação): refere-se ao novo conhecimento criado e distribuído durante um novo processo de desenvolvimento de produtos;
- 3) Tipo Afirmativa: membros de times e gerentes comunicam-se para necessidades de motivação e inspiração.

Maheswari *et al.* (2005) apresentam que diferentemente do fluxo do trabalho, o fluxo de informação é mais freqüente entre as atividades, ou seja, um considerável montante de tempo é gasto na obtenção da informação antes e durante a execução da atividade. Tal fato foi denominado de “tempo de comunicação”. É importante observar que o tempo de comunicação é uma importante entrada, além da lista de atividades, relações de dependência, probabilidade de retrabalho, montante de trabalho na forma de duração, sendo todos necessários para o seqüenciamento do projeto.

O “tempo de comunicação” inclui o tempo gasto em discussões, organização de reuniões, envio e recebimento de e-mails, navegação na internet, espera

por decisões de níveis superiores, entre outros. Em sua pesquisa, os autores Maheswari *et al.* (2005) apresentaram uma estimativa da duração normal de um projeto, considerando o tempo de comunicação durante a realização do trabalho em cada atividade.

Assim, considerando-se a comunicação e troca de informações entre diferentes atividades ou participantes de projetos como sendo essencial para o sucesso do projeto (MAHESWARI *et al.*, 2005) e para seu seqüenciamento, justifica-se a consideração do tema no trabalho desenvolvido.

2.5 Seqüenciamento em projetos

Com o intuito de reduzir-se o tempo de projeto, diversas técnicas de seqüenciamento e compressão de cronograma estão em uso atualmente, especialmente no ramo de projetos de construção civil, sendo as mais conhecidas: Construção em Fases, *Fast Track*, Engenharia Simultânea e Construção Simultânea. Quando o projeto está atrasado, técnicas caracterizadas como aceleradoras do projeto podem ser utilizadas de forma a atender o tempo inicialmente planejado: Incremento de Recursos em cada atividade, Sobreposição de tarefas e Substituição de atividades, que consiste em empregar uma nova tecnologia para executar determinada etapa do projeto de forma a reduzir o tempo da atividade (e.g. Substituição de uma forma manual de uma operação manufatureira por uma máquina computadorizada de controle numérico) (GERK *et al.*, 2008).

Maheswari *et al.* (2006) conceituam os métodos de compressão de cronograma da seguinte forma: (a) *Método convencional*, no qual primeiro é feito o planejamento e o design do projeto, para depois se realizar a execução. Com a necessidade de redução do tempo de ciclo, surgiu a (b) *Construção em Fases*, em que, após cada pacote de trabalho ter seu planejamento finalizado, é iniciada sua execução. Procurando-se maior redução de tempo, surgiu o método "*Fast Track*", no qual a fase de design é sobreposta à fase de execução, porém apresentam-se diversos problemas, e o risco de aumento de custos devido à não-sistematização do método. Já a *Engenharia Simultânea*

apresenta-se como um processo organizado para obter o objetivo de redução de tempo de ciclo. É um processo cujas atividades selecionadas na etapa de design são sobrepostas, reduzindo o tempo total de projeto. Já a *Construção Concorrente* é uma combinação do método *Fast Track* com Engenharia Simultânea, na qual há uma redução da etapa de design e sobreposição com a etapa de execução. O foco do trabalho será voltado para o método de Engenharia Simultânea.

A Figura 17 a seguir ilustra as cinco técnicas.



Figura 17: Técnicas de Seqüenciamento e Compressão de Cronogramas (MAHESWARI *et al.*, 2006, p.483)

No método convencional de seqüenciamento de tarefas não há a violação do relacionamento do tipo “Terminar” para “Começar”. Na busca pela diminuição do tempo de execução do projeto e da utilização do método de Engenharia Simultânea, as atividades devem ser sobrepostas. Convencionalmente, todas as informações são liberadas de uma atividade a montante somente após a

sua finalização (Figura 18a) e, do mesmo modo, qualquer atividade a jusante começa sua execução após ter recebido todas as informações de entrada necessária (MAHESWARI *et al.*, 2005). No entanto, algumas informações podem ser liberadas antes da finalização da atividade predecessora (relacionamento “Começar” para “Começar”), e as atividades sucessoras podem realizar sua execução antes da finalização da atividade predecessora. Tal fenômeno é chamado de **sobreposição natural** (Figura 18b). A sobreposição natural ocorre no mesmo momento em que as informações são demandadas e ofertadas entre as atividades. Outro tipo de sobreposição ocorre quando duas atividades, que não podem ser sobrepostas em um modo natural, são forçadas a se iniciar quase simultaneamente, de forma a diminuir o tempo de duração do projeto, este tipo é chamado de **sobreposição forçada** (Figura 18c) (MAHESWARI *et al.*, 2005).

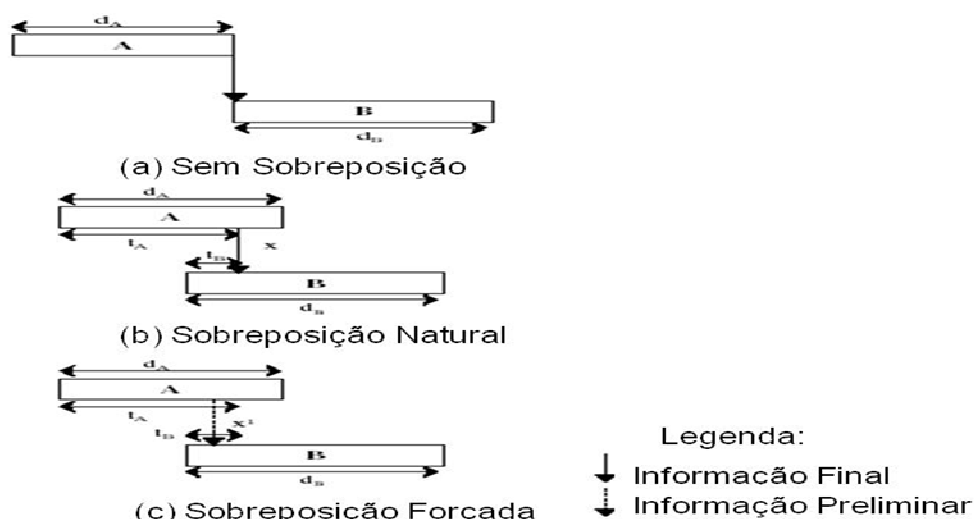


Figura 18: Sobreposição Natural e Forçada (Adaptado de MAHESWARI *et al.*, 2005)

Considerando a Figura 18 apresentada, quando não há sobreposição, a tarefa A somente repassa a informação para a tarefa B quando aquela é finalizada. Não existe risco de erro pelo repasse da informação, pois ela é uma informação completa e foi disponibilizada sem a precipitação de repasse de dados. Porém o tempo de execução da tarefa necessariamente será $d_A + d_B$.

Já na sobreposição natural, antes do tempo d_A de finalização da tarefa A, existe a possibilidade de se repassar parte da informação para a tarefa posterior no tempo t_A ou a partir desse ponto, formando-se assim uma grade de possibilidades de pontos de envio da informação. Ainda, para a sobreposição ser eficiente, o momento de repasse da informação coincide com o momento que a tarefa B necessita dessa parte da informação (após o tempo t_B de início da tarefa B). Nesse caso, existe um risco de erro da informação repassada e uma conseqüente necessidade de retrabalho (ver tópico 2.6), uma vez que o que está sendo repassado é uma parte da informação e não a informação completa e final.

No entanto tais suposições de informação são necessárias e intrínsecas ao processo de Engenharia Simultânea, visando-se a uma redução no tempo de desenvolvimento.

Caso exista a necessidade de um repasse da informação de forma forçada (antes do tempo T_A) e/ou a tarefa B requerer a informação antes de T_B , então existe a sobreposição forçada e um alto risco de erro da informação repassada, não sendo, portanto, interessante para os gerentes de projetos (MAHESWARI *et al.*, 2005).

Sobreposição Natural e o “Fator Tempo”

Maheswari *et al.* (2005) apresentaram conceitos de importância sobre o tempo de repasse de informações que serão utilizados no trabalho. Segundo ele, o tempo necessário para o repasse da informação e o recebimento da informação entre duas tarefas com sobreposição natural é chamado de Fator Tempo. Tal tempo é representado no DSM na forma de proporção.

Dada a Figura 19 a seguir, se p_1 unidades de tempo são necessárias para liberar a informação da atividade P e p_2 é a duração da tarefa P, então o fator tempo de envio da informação de P será $T_p (p_1/p_2)$. Da mesma forma, o fator tempo para recebimento da informação da atividade sucessora S é calculado como $T_s (s_1/s_2)$.

É importante observar que no modelo elaborado para este estudo, o Fator “Tempo de Envio” da informação indica o ponto inicial do estado de finalização

da tarefa, no qual se pode repassar a informação para a tarefa sucessora e demandante. Antes desse ponto, a probabilidade de erro é elevada e inviabiliza o repasse da informação. A partir desse ponto pode-se repassar a informação, sendo que quanto mais próximo o ponto de repasse da informação estiver da finalização da tarefa, menor o risco de se retrabalhar a informação. A Figura 19 ilustra o Fator Tempo.

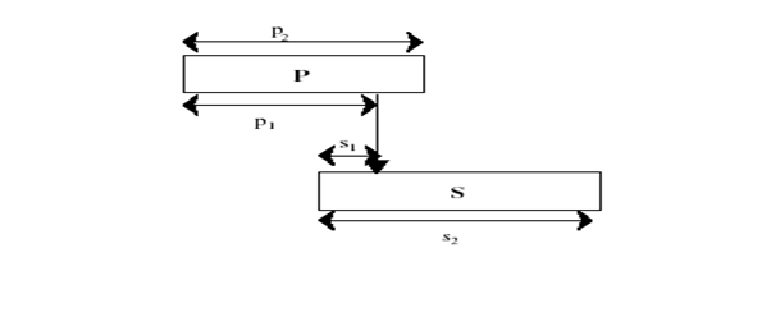


Figura 19: Fator Tempo (MAHESWARI *et al.*, 2005, p. 225)

2.6 Probabilidade de mudança e Impacto

Baseando-se nos estudos desenvolvidos por Krishnan *et al.* (1997), que descreveram a troca de informação entre duas tarefas usando os conceitos de “Evolução da informação a montante” e “Sensibilidade de iteração a jusante”, Carrascosa *et al.* (1998) desenvolveram um modelo que estima a probabilidade de completar o desenvolvimento de determinado projeto de produto dentro do tempo inicialmente programado, levando-se em consideração o elemento estocástico que representa a propensão de mudanças resultantes de interações entre tarefas e o conseqüente retrabalho⁵ necessário.

Ao caracterizar o fluxo da informação, a autora utilizou-se dos conceitos de “Probabilidade de Mudança” e “Impacto”, nos quais “mudança” apresenta-se mais relacionada ao conceito de evolução (assertividade do parâmetro de

⁵ Segundo Smith *et al.* (1997), cada tarefa cria um montante determinístico de trabalho para outra tarefa. Retrabalho é a repetição necessária de uma tarefa, devido a sua realização inicial com uma informação imperfeita.

saída em relação ao seu valor final), e “impacto” ao conceito de sensibilidade (relação entre a mudança/incerteza da informação de entrada e a nova duração resultante da iteração). Assim como a Mudança, o Impacto é função do estado de finalização da tarefa e têm um componente estocástico (CARRASCOSA *et al.*, 1998).

O estado de finalização da tarefa i (t_i) é medido como sendo o progresso da tarefa i em unidade de tempo. Ou seja, t_i é o tempo decorrido desde o início da tarefa i menos o retrabalho (tempo requerido por todas as mudanças que afetam a tarefa). Conceitua-se também o tempo acumulado de desenvolvimento T , sendo a medida global do tempo de desenvolvimento.

A Probabilidade de Mudança é conceituada como sendo a propensão do valor inicial do parâmetro de entrada mudar ao longo do tempo. Podem-se observar na Figura 20 os dois tipos básicos de curvas que representam a incerteza na tarefa por meio da premissa de que a probabilidade de mudança do parâmetro é função do estado de finalização da tarefa. No modelo convexo, observa-se uma rápida diminuição da incerteza ao longo do desenvolvimento da tarefa, e no modelo côncavo a probabilidade de mudança se mantém alta, mesmo com a proximidade de finalização da tarefa demorando a diminuir (CARRASCOSA *et al.*, 1998).

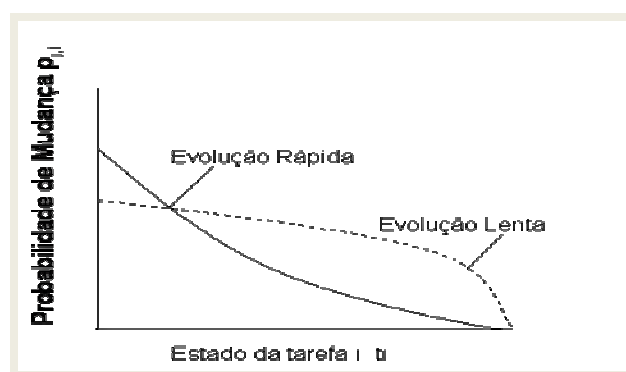


Figura 20: Probabilidade de Mudança: Informação definida pela tarefa j para a tarefa i (CARRASCOSA *et al.*, 1998, p.4).

A probabilidade de mudança do parâmetro definida pela tarefa i e comunicada para a tarefa j é definida como:

$$\rho_{j,i}(t_i); 0 \leq t_i \leq L_i$$

Onde:

t_i – Estado para finalização da tarefa i

L_i – Duração da tarefa i , sem retrabalho

$$\int_0^{L_i} \rho_{j,i}(s) ds < 1$$

Conceitua-se Impacto da mudança como sendo a quantificação do efeito da mudança na tarefa que está recebendo a informação. Ele é função do progresso da tarefa. Assim, o impacto causado à tarefa j devido a mudanças da tarefa i é definido como:

$$\sigma_{i,j}(t_j); 0 \leq t_j \leq L_j$$

$$\sigma_{i,j}(t_j) \leq t_j.$$

Ainda, o impacto é medido por meio de unidade de tempo. De acordo com Carrascosa *et al.* (1998), as formas de impacto podem ser proporcional ou constante em relação ao estado de realização da tarefa, conforme apresentado na Figura 21 a seguir:

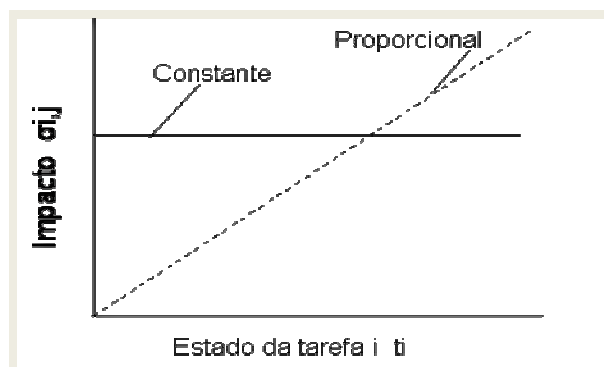


Figura 21: Formas de Impacto na tarefa j devido a mudanças na tarefa i (CARRASCOSA *et al.*, 1998, p.4).

Considerando-se que existem diversos tipos de mudanças que podem ocorrer durante o processo de desenvolvimento de projetos (e.g. mudanças de especificação, mudanças de parâmetros, de pessoas, de fornecedores, entre outros), visualiza-se a necessidade de considerar tais variáveis no modelo desenvolvido, aproximando-se da realidade de projetos.

2.7 Discussão Final

Este capítulo teve como objetivo apresentar os principais conceitos considerados na elaboração do modelo, que auxiliam no entendimento da natureza dos projetos. Ao abranger os parâmetros de comunicação em projetos, seqüenciamento de projetos, sobreposição de tarefas, riscos de retrabalhar a informação, procurou-se atender a itens que se complementam e que visam incrementar a acuracidade da modelagem de um planejamento de projetos.

Como será melhor elucidado no próximo capítulo, todos esses itens serão utilizados na modelagem e são considerados nas análises do impacto da transferência precoce de informações entre tarefas, tanto no custo quanto no tempo final de um projeto.

Foi apresentada também uma visão geral e embasada da ferramenta *Design Structure Matrix*, que serve de apoio ao modelo apresentado nesta dissertação, principal novidade deste trabalho no que diz respeito ao estado da arte da gestão de projetos.



CAPÍTULO 3

FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

3.1 Introdução

Tendo em vista os embasamentos teóricos apresentados no capítulo anterior, este capítulo tem como objetivo apresentar o modelo elaborado, para o entendimento de sua função e seus parâmetros. É apresentado também um exemplo numérico de forma a ilustrar a aplicação do modelo.

Seguindo as premissas e conceitos apresentados, e utilizando como principal base o modelo de cálculo do tempo de desenvolvimento de projetos com sobreposição natural desenvolvido por Maheswari *et al.* (2005), a formulação matemática será apresentada a seguir. Serão analisados três casos distintos. Para analisar o primeiro caso, caso 1, utilizaremos o modelo de Maheswari, cujo objetivo é determinar o tempo de projeto, considerando a sobreposição natural de tarefas, mas sem a identificação do melhor ponto de repasse da informação. Portanto, nesse caso existe apenas uma opção em cada relacionamento de tarefas para o momento de se repassar a informação. Tal caso servirá de base para se comparar os resultados com os resultados obtidos nos outros dois casos subseqüentes.

Para os outros dois casos, utilizaremos o modelo proposto neste trabalho, sendo que para o caso 2 será analisado o melhor momento de repasse da informação entre tarefas, considerando o objetivo de minimização do tempo total de projetos e a incerteza da informação, desconsiderando-se os custos de trabalho e retrabalho. Já para o caso 3, o objetivo será o de minimização do custo total do projeto, tendo as mesmas características do caso anterior, mas considerando os custos de trabalho e retrabalho. Nesse caso, uma análise de *trade off*⁶ entre custo e tempo de projeto torna-se pertinente.

⁶ Vários autores têm apresentado a relação de *trade off* existente entre Custo x Tempo em projetos. No entanto, tais análises são voltadas para o aumento do custo do projeto devido ao aumento do número de recursos em cada atividade, visando a uma redução no tempo de execução de cada atividade. No modelo apresentado, busca-se uma análise de custo total do projeto, considerando os custos de cada tarefa relativa à execução do projeto de forma prevista/custo da execução do retrabalho versus o tempo total de projeto.

3.2 Modelo Base

Caso 1 – Objetivo: determinação do tempo de projeto com sobreposição natural de tarefas

No modelo desenvolvido por Maheswari *et al.* (2005), o tempo de desenvolvimento de um projeto é calculado considerando que a informação transferida entre duas atividades ocorre apenas uma vez e de forma unidirecional. É importante pontuar que se obtém a sobreposição natural entre tarefas ao se repassar uma informação preliminar no momento em que ela está disponível e é requerida. O Fator Tempo (item 2.5) varia entre 0 e 1 e é representado nas células da matriz que não estão na diagonal. Esse fator, a duração de cada atividade e o relacionamento entre as tarefas são representados em duas matrizes separadas B_{ij} (para todos os valores T_p entre tarefas i e j – fator tempo de envio da informação) e C_{ij} (para todos os valores T_s – fator tempo de recebimento da informação).

$$(S)_j = \text{Max} [(S)_i + (B_{ji} \times B_{ii}) - (C_{ji} \times C_{ij})], \quad \forall i \forall j \quad (1)$$

$$(F)_j = (S)_j + B_{jj}, \quad \forall j \quad (2)$$

Duração de um projeto com sobreposição natural:

$$F^* = \text{Max} [(F)_j], \quad \forall j \quad (3)$$

Onde i são todos os predecessores imediatos de j ; j é a atividade corrente escolhida por meio da identificação do particionamento do DSM; S (*early start*) representa a data de início mais cedo da atividade;

e F (*early finish*) representa a data de fim mais cedo da atividade. F^* é a duração de um projeto com sobreposição natural.

B_{jj} é igual a C_{jj} (o que implica que a duração é a mesma em ambas as matrizes, variando-se somente os valores do Fator Tempo).

3.3 Modelo Proposto

Caso 2 – Objetivo: Identificação do melhor momento de repasse da informação entre tarefas, considerando a *minimização do tempo total de projetos* e a incerteza da informação

Para o caso 2, propõe-se um modelo que tem como objetivo a minimização do tempo de projeto, considerando a sobreposição de tarefas e a identificação do melhor momento de repasse de informação entre elas. O modelo utiliza as bases apresentadas por Maheswari (2005), mas sofre uma modificação ao considerar os indicadores de probabilidade de retrabalho e impacto, e os conceitos de tempo de comunicação entre as tarefas (Carrascosa *et al.*, 1998). Assim, deverá ser considerada, além das duas matrizes apresentadas, a matriz que indica o tempo de comunicação entre as tarefas (H_{ij}). Cabe aqui ressaltar que para a identificação do melhor momento de repasse de informação, existe uma grade de possibilidades (que se inicia a partir do índice de Fator Tempo de Repasse e finaliza em 1), que apresenta suas respectivas probabilidades de impacto e retrabalho associadas ao estado de finalização da tarefa que repassa a informação (rever itens 2.5 e 2.6).

Formalmente, o modelo 2 pode ser descrito da seguinte forma:

$$(S)_j^{(k)} = \text{Max} [(S)_i^{(k)} + (M_{ij}^{(k)} \times B_{ij}) + (H_{ij}) - (C_{ji} \times C_{ij})] \quad \forall i \forall j \forall k \quad (4)$$

$$\text{s.a. } B_{ij} \leq M_{ij}^{(k)} \leq 1$$

$$\begin{aligned}
 (F)_j^{(k)} &= (S)_j^{(k)} + B_{ij} + \text{Max} \{ \rho_{j,i}(t_i) \times \sigma_{i,j}(t_j) \} \\
 &= (S)_j^{(k)} + B_{ij} + \text{Max} \{ (1 - M_{ij}^{(k)}) \times (F)_i^{(k)} - S_j^{(k)} \}
 \end{aligned} \tag{5}$$

 $\forall i \forall j \forall k$

$$\text{s.a. } B_{ij} \leq M_{ij}^{(k)} \leq 1$$

Duração de um projeto com sobreposição natural, comunicação entre tarefas e probabilidade de mudança e impacto:

$$F^* = \text{Min}_{k \in K} (\text{Max} [(F)_j^{(k)}]), \tag{6}$$

 $\forall i \forall j \forall k$

$$\text{s.a. } B_{ij} \leq M_{ij}^{(k)} \leq 1$$

Parâmetros

i são todos os predecessores imediatos de j ; j é a atividade corrente escolhida por meio da identificação do particionamento do DSM; k representa a iteração, ou seja, representa o conjunto das possíveis combinações repasse de informação que constituem a grade de opções de planejamento⁷.

B_{ij} representa o valor de T_p entre tarefas i e j – fator tempo de envio da informação e C_{ij} representa o valor T_s – fator tempo de recebimento da informação.

B_{ij} é igual a C_{ij} (o que implica que a duração é a mesma em ambas as matrizes, variando-se somente os valores do Fator Tempo).

⁷ Se, por exemplo, em um projeto as tarefas A, B e C se relacionarem entre si da seguinte forma: A pode repassar informação para B em 10%, 50% ou 100%, e B pode repassar para C em 40% e 100%, então existe, através de uma relação de combinação matemática, 6 possibilidades de planejamento de troca de informação. Portanto, para o caso, k vai de 1 a 6.

$k = 1 = \{M_{AB}^{(1)} = 10\%, M_{BC}^{(1)} = 40\%\}$, $k = 2 = \{M_{AB}^{(2)} = 10\%, M_{BC}^{(2)} = 100\%\}$, ... $k = 6 = \{M_{AB}^{(6)} = 100\%, M_{BC}^{(6)} = 100\%\}$.

H_{ij} é o tempo de comunicação ou repasse da informação parcial entre a atividade i e a atividade j .

A probabilidade de mudança está relacionada ao momento de repasse de informação, sendo que quanto mais próximo o momento de repasse for do fim da tarefa, menor será a probabilidade de mudança. Tal característica é a representada por Carrascosa *et al.* (1998), como informado no item 2.6 deste trabalho, sendo modelada como a de evolução rápida no modelo proposto. Assim, a probabilidade de mudança foi considerada como sendo $(1 - M_{ij}^{(k)})$, ou seja, o percentual faltante para a entrega da informação final da atividade i para a atividade j .

O Impacto apresenta-se relacionado ao trabalho total executado pela tarefa a jusante (j) após o recebimento da informação completa pela atividade predecessora (i). Considerando-se os conceitos de Carrascosa *et al.* (1998), o impacto foi modelado como sendo proporcional ao estado de finalização da tarefa que recebe a informação. Esse é o trabalho total executado $(F_i^{(k)} - S_j^{(k)})$, que apresenta uma chance de ser retrabalhado ao receber a informação completa e final de sua predecessora. Uma atividade poderá apresentar diversas atividades predecessoras, sendo, assim, o maior valor da relação *Probabilidade de Retrabalho x Impacto* a ser considerado no cálculo do tempo total.

Variáveis

$M_{ij}^{(k)}$ é o momento de repassar a informação entre a tarefa i e a tarefa j . Tal momento tem como menor valor o próprio Fator Tempo de Envio da Informação (B_{ij}) e o maior valor igual a 1. M_{ij} é função de k .

Saídas

$S_j^{(k)}$ (*early start*) representa a data de início mais cedo da atividade; e $F_j^{(k)}$ (*early finish*) representa a data de fim mais cedo da atividade.

$Max [(F_j)^{(k)}]$ representa a identificação do tempo final do projeto para o conjunto k de possibilidades de repasse de informação entre tarefas.

Função Objetivo

A função objetivo para o Caso 2 busca o menor tempo total de projeto F^* , considerando as diversas possibilidades de momentos de repasse de informação (K) e os respectivos retrabalhos associados.

Obtém-se mediante o modelo os seguintes dados apresentados na Tabela 4:

Informações da Atividade (i)	Informações do Projeto
Data de Início da Atividade (S)	Tempo Total do Projeto
Data de Fim da Atividade (F)	Retrabalho Total do Projeto
Trabalho da Atividade	
Retrabalho da Atividade	
Ponto de Repasse da Informação (para cada atividade j)	

Tabela 4: Dados obtidos com modelo proposto, sem considerar parâmetros de custo

Caso 3 – Objetivo: *Minimização do custo total do projeto*

Para o caso 3, utiliza-se o modelo proposto para o cálculo dos tempos de projeto e os custos associados a eles, considerando-se as diversas possibilidades de repasse de informação entre tarefas e o impacto e o retrabalho inerentes ao processo, além do tempo de comunicação. O modelo é acrescido dos parâmetros de custos de trabalho (α_j) e custos de retrabalho (β_j). Tal modelo irá permitir a análise de *trade off* existente entre os custos do projeto (associados ao trabalho e retrabalho) e o tempo de finalização do projeto.

O Modelo, acrescido dos parâmetros de custo de trabalho e retrabalho, fica:

$$(S)_j^{(k)} = \text{Max} [(S)_i^{(k)} + (M_{ij}^{(k)} \times B_{ij}) + (H_{ij}) - (C_{ji} \times C_{jj})] \quad \forall i \forall j \forall k \quad (7)$$

$$\text{s.a. } B_{ij} \leq M_{ij}^{(k)} \leq 1$$

$$(F)_j^{(k)} = (S)_j^{(k)} + B_{jj} + \text{Max} \{ \rho_{j,i}(t_i) \times \sigma_{i,j}(t_j) \} \quad (8)$$

$$= (S)_j^{(k)} + B_{jj} + \text{Max} \{ (1 - M_{ij}^{(k)}) \times (F_i^{(k)} - S_j^{(k)}) \} \quad \forall i \forall j \forall k$$

$$\text{s.a. } B_{ij} \leq M_{ij}^{(k)} \leq 1$$

$$\alpha_{Total}^{(k)} = \{ B_{jj} \} \times \alpha_j \quad (9)$$

$$\beta_{Total}^{(k)} = \{ (F)_j^{(k)} - (S)_j^{(k)} - B_{jj} \} \times \beta_j \quad \forall j \forall k$$

Duração de um projeto com sobreposição natural, comunicação entre tarefas e probabilidade de mudança e impacto:

$$F^* = \text{Max} [(F)_j^{(k)}] \quad \forall j \forall k \quad (10)$$

O Menor Custo total do projeto é:

$$C^*_{Total} = \min_{k \in K} (\sum (\alpha_{Total}^{(k)}{}_j + \beta_{Total}^{(k)}{}_j)) \quad \forall j \forall k \quad (11)$$

Parâmetros (além dos já apresentados no item anterior)

α_j é o custo relativo à execução de uma unidade de tempo da atividade j .

β_j é o custo relativo à execução de uma unidade de tempo que está sendo retrabalhada da atividade j .

$\alpha_{Total}^{(k)}{}_j$ é o custo total de trabalho da atividade j na iteração k .

$\beta_{Total}^{(k)}{}_j$ é o custo total de retrabalho da atividade j na iteração k .

Função Objetivo

C^*_{Total} é o menor custo total do projeto.

A função objetivo busca o menor custo de projeto, considerando as diversas possibilidades de momentos de repasse de informação e os respectivos retrabalhos associados.

Obtêm-se por meio do modelo os seguintes dados apresentados na Tabela 5:

Informações da Atividade (i)	Informações do Projeto
Data de Início da Atividade (S)	Tempo Total do Projeto
Data de Fim da Atividade (F)	Retrabalho Total do Projeto
Trabalho da Atividade	Custo de Retrabalho do Projeto
Retrabalho da Atividade	Custo de Trabalho do Projeto
Ponto de Repasse da Informação (para cada atividade j)	Custo Total do Projeto
Custo de Trabalho da Atividade	
Custo de Retrabalho da Atividade	
Custo Total da Atividade	

Tabela 5: Dados obtidos com modelo proposto, considerando parâmetros de custo

3.4 Exemplo Numérico

Esta seção apresenta um procedimento de solução para estimação do tempo de projeto e o custo associado a ele, utilizando-se um exemplo numérico. O procedimento a seguir é dividido em 4 partes. A primeira apresenta o cálculo do tempo de projeto, não considerando a sobreposição de tarefas. Na segunda etapa, é apresentado o cálculo do tempo de projeto, utilizando-se o modelo base elaborado por Maheswari (2005). Na terceira etapa é apresentado o cálculo do tempo de projeto, considerando a sobreposição de tarefas, o impacto e o retrabalho inerentes ao processo e a identificação do melhor momento de repasse de informação entre as tarefas utilizando-se o modelo proposto. Por último, apresentam-se o cálculo dos tempos de projeto e os custos associados a ele, considerando as diversas possibilidades de repasse de informação entre tarefas e o impacto e retrabalho inerentes ao processo. Nessa parte, é verificada uma diferenciação entre custos de trabalho e custos

de retrabalho. O modelo proposto é utilizado. Dessa forma, em cada etapa do procedimento, serão apresentados (i) Aplicação do modelo no exemplo considerado e (ii) Considerações.

O exemplo consiste em um projeto com 5 atividades de A a E, sendo que as informações de duração das atividades e predecessoras são apresentadas na Tabela 6 abaixo:

Nº	Atividade	Predecessoras	Duração
1	A		6
2	B		8
3	C	A	7
4	D	A,E	4
5	E	A,C	1

Tabela 6: Dados do Exemplo

Utilizando-se o DSM e sua otimização por meio da técnica de seqüenciamento, apresenta-se a matriz particionada na figura a seguir (Não é objeto deste trabalho o detalhamento da técnica de Seqüenciamento do DSM):

Figura 22(a) – Representação no DSM dos Relacionamentos.

Figura 22(b) – Linhas e colunas reordenadas utilizando-se o particionamento para otimização e seqüenciamento viável do projeto.

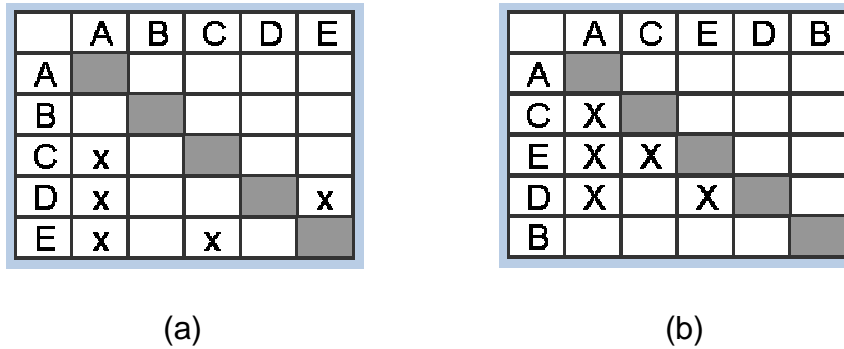


Figura 22: Representação no DSM dos relacionamentos

A duração de cada atividade na diagonal da matriz e o tempo de comunicação substitui os “X”, conforme Figura 23:

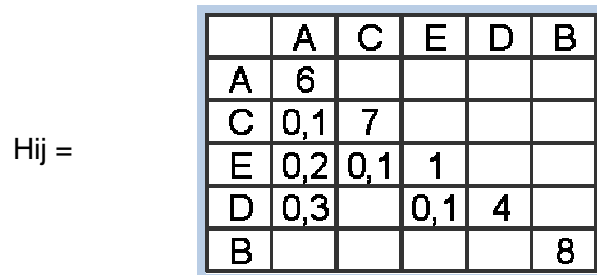


Figura 23: Duração das atividades e tempo de comunicação

Assim, H₂₁ tem o valor “0,1”, o que indica que se demanda 0,1 unidade de tempo para comunicar a informação da atividade A para a C.

Fator Tempo de transferência da informação, conforme Figura 24:

B_{ij} =

	A	C	E	D	B
A	6				
C	0,8	7			
E	0,0	0,6	1		
D	0,8		0,7	4	
B					8

Figura 24: Fator Tempo de Transferência da Informação

Aqui, “0,8” indicado em B₂₁, apresenta que A pode mandar a informação que é requerida por C a partir de “0,8” vezes a duração de A, ou seja, no tempo 4,8 (=0,8x6).

Fator Tempo de Recebimento da Informação, conforme Figura 25:

C_{ij} =

	A	C	E	D	B
A	6				
C	0,1	7			
E	0,0	0,3	1		
D	0,1		0,2	4	
B					8

Figura 25: Fator Tempo de Recebimento da Informação

Aqui, “0,1” em C₂₁ indica que é essencial para C receber a informação de A somente “0,1” vezes a sua duração, de forma que a esta continue a sua execução. Assim, o tempo seria 0,7 após o início da tarefa C (=0,1x7)

Probabilidade de Mudança:

Foi definido como premissa neste exemplo que a probabilidade de mudança de determinada tarefa i está diretamente relacionada ao momento de repasse da informação para a tarefa j . Assim, se a tarefa i repassa a informação para a tarefa j após 80% da duração de sua atividade (Y), então existe uma probabilidade de mudança da informação que está sendo repassada para a tarefa sucessora igual a $1 - ((0,8 \times Y)/Y)$ ou $1 - 0,8 = 0,2$. A Figura 26 a seguir ilustra a questão:

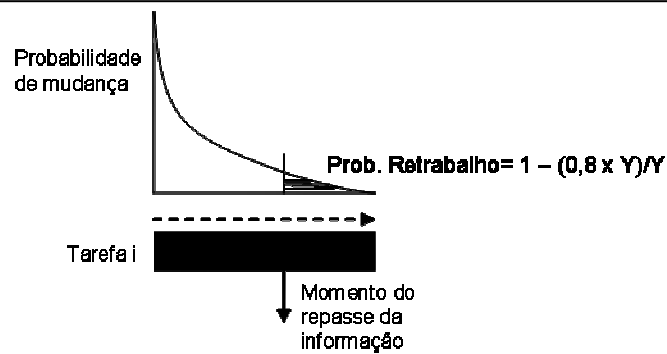


Figura 26: Probabilidade de Retrabalho

1ª Parte: Cálculo do tempo de projeto, não considerando a sobreposição de tarefas

- (i) Utilizando-se o Gráfico de Gantt (representado na Figura 27) e o seqüenciamento indicado pela DSM, pode-se obter o tempo final de projeto. Nesse caso, desconsiderou-se o tempo de comunicação entre as tarefas.

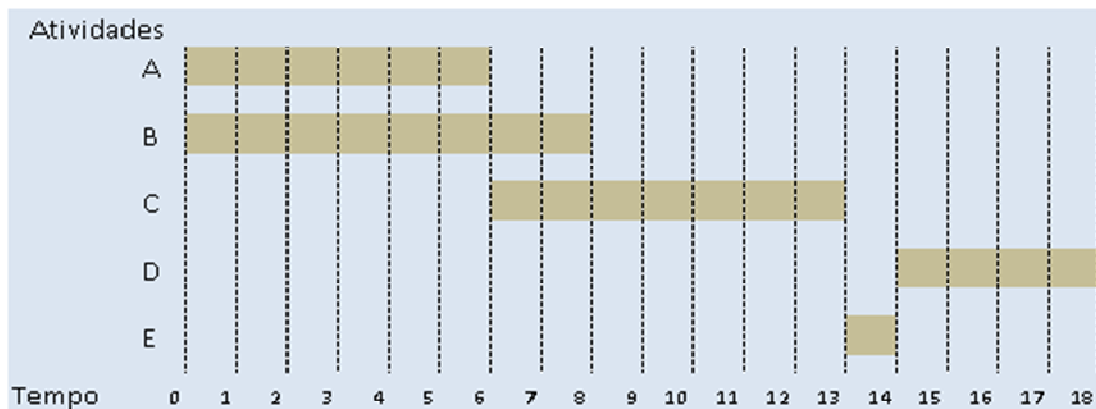


Figura 27: Gráfico de Gantt, sem sobreposição de tarefas

O tempo final do projeto sem a sobreposição de tarefas é de 18 unidades de tempo.

(ii) Considerações:

No caso apresentado, os riscos de retrabalhar a informação são inexistentes, dado que o repasse da informação é feito no final da tarefa. Assim, a informação repassada é a informação completa e final.

2ª Parte: - Caso 1 - *Cálculo do tempo de projeto utilizando-se o modelo base elaborado por Maheswari*

(i) Nesta etapa, utiliza-se o modelo desenvolvido por Maheswari (2005) para o cálculo do tempo de projeto. Assim, para fins ilustrativos, seguem as primeiras iterações:

$$(F)_A = 6.$$

$$(S)_A = 0 \text{ (Não há predecessora)}$$

$$(F)_B = 8$$

$$(S)_B = 0 \text{ (Não há predecessora)}$$

$$\begin{aligned} (S)_C &= \text{Max} [(S)_A + (B_{21} \times B_{11}) - (C_{21} \times C_{22})] \\ &= \text{Max}[0 + (0,8 \times 6) - (0,1 \times 7)] = 4,1 \end{aligned}$$

$$(F)_C = (S)_C + B_{ij}$$

$$\begin{aligned} (F)_C &= (S)_C + B_{22} \\ &= 4,1 + 7 = 11,1 \end{aligned}$$

Fazendo-se o mesmo para todas as tarefas, o tempo estimado para o projeto, considerando a sobreposição de tarefas (modelo Maheswari), obtém-se:

$$\begin{aligned} &= \text{Max} [(F)_j], \quad \forall j \\ &= 11,9. \end{aligned}$$

A seguir, a Figura 28 representa o Gráfico de Gantt com o seqüenciamento e a sobreposição, utilizando o modelo de Maheswari (2005).

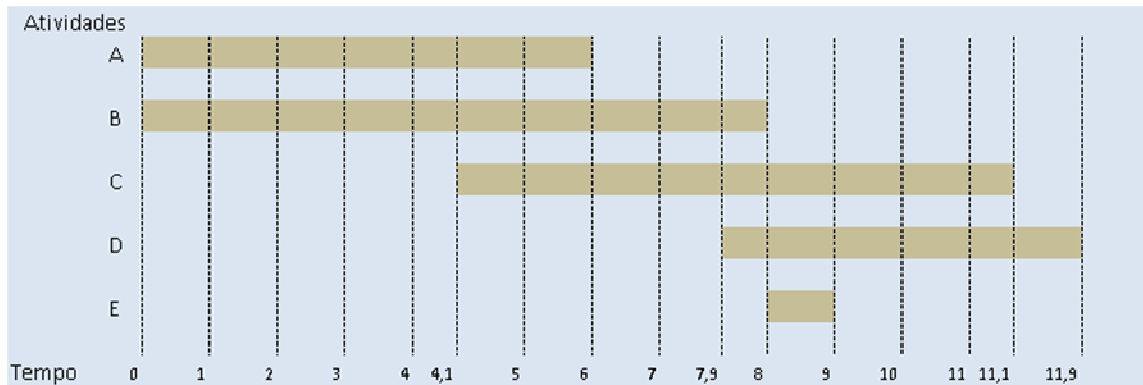


Figura 28: Gráfico de Gantt, utilizando modelo de Maheswari

(ii) Considerações:

Utilizando-se o modelo de Maheswari, obtém-se um tempo de projeto menor, uma vez que há a sobreposição de tarefas. Nesse caso, faz-se a sobreposição de tarefas, utilizando-se as matrizes de Envio de informação (B_{ij}) e Recebimento de informação (C_{ij}).

No entanto, o modelo desconsidera os riscos inerentes ao processo de repassar a informação de forma antecipada entre tarefas, e que poderiam impactar o aumento do tempo de projeto ou uma variação dos custos.

3ª Parte: - Caso 2 - Cálculo do tempo de projeto, considerando a sobreposição de tarefas e a identificação do melhor momento de repasse de informação entre elas, utilizando-se o modelo proposto

(i) Para esta parte, utiliza-se o modelo proposto elaborado, mas sem os parâmetros de custo. Esse modelo identifica o melhor momento de repassar a informação entre as tarefas, de forma a minimizar o tempo total do projeto, além de considerar as premissas voltadas para o risco de erro da informação repassada (impacto e retrabalho). Uma nova informação de entrada se faz necessária: a grade de momentos de repasse da informação. Tal grade é elaborada considerando uma variação entre o Fator Tempo de Envio da Informação (Primeiro momento possível para o repasse da informação) e 1,0 (Momento final de repasse da informação. Representa o repasse ao final da execução da tarefa que envia a informação). No exemplo em questão, considerou-se uma variação de 0,05 entre os momentos de repasse. Portanto, o Momento de repasse da informação, ou M_{ij} , tem como menor valor o próprio Fator Tempo de Envio da informação (B_{ij}) e o maior valor igual a 1.

A seguir, a Tabela 7 de variação dos M_{ij} 's é considerada:

A-C	A-D	E-D	A-E	C-E
0,8	0,8	0,7	0	0,6
0,85	0,85	0,75	0,05	0,65
0,9	0,9	0,8	0,1	0,7
0,95	0,95	0,85	0,15	0,75
1	1	0,9	0,2	0,8
		0,95	0,25	0,85
		1	0,3	0,9
			0,35	0,95
			0,4	1
			...	
			1	

Tabela 7: Tabela de variação dos Fatores de Tempo de Envio

Os M_{ij} 's apresentam-se somente para as tarefas que possuem alguma relação. Assim, A é uma tarefa predecessora de C, pois repassa informação para a última. Assim, M_{AC} é testado entre 0,8 e 1, variando-se em intervalos de 0,05.

Para fins de análise, são utilizados intervalos discretos de incremento do tempo.

A combinação entre os diversos momentos de repasse da informação apresentados gera um espaço K de 33.075 diferentes cenários, que apresentam a mesma seqüência de atividades, mas se diferenciam pelos momentos de repasse da informação entre tarefas e o tempo total do projeto obtido.

Assim, utilizando o modelo proposto, seguem duas iterações estimadas para a M_{AC} , com fim ilustrativo:

$$K=1 (M_{AC} = 0,8 ; M_{DA} = 0,8 ; M_{ED} = 0,7 ; M_{AE} = 0 ; M_{CE} = 0,6)$$

Para $M_{AC} = 0,8$

$$\begin{aligned} (S)_C^{(1)} &= \text{Max} [(S)_A^{(1)} + (M_{AC}^{(1)} \times B_{11}) + (H_{21}) - (C_{21} \times C_{22})] \\ &= \text{Max} [0 + (0,8 \times 6) + 0,1 - (0,1 \times 7)] = 4,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (F)_C^{(1)} &= (S)_C^{(1)} + B_{22} + \text{Max} [\text{Probabilidade de Mudança } i \times \text{Impacto } j] \\ &= (S)_C^{(1)} + B_{22} + \text{Max} \{ (1 - M_{AC}^{(1)}) \times (F_A^{(1)} - S_C^{(1)}) \} \\ &= (S)_C^{(1)} + B_{22} + \text{Max} [0,2 \times (6 - 4,2)] \\ &= 4,2 + 7 + 0,36 = 11,46 \end{aligned}$$

$$K=2 (M_{AC} = 0,85 ; M_{DA} = 0,8 ; M_{ED} = 0,7 ; M_{AE} = 0 ; M_{CE} = 0,6)$$

Para $M_{AC} = 0,85$

$$\begin{aligned} (S)_C^{(2)} &= \text{Max} [(S)_A^{(2)} + (M_{AC}^{(2)} \times B_{11}) + (H_{21}) - (C_{21} \times C_{22})] \\ &= \text{Max} [0 + (0,85 \times 6) + 0,1 - (0,1 \times 7)] = 4,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (F)_C^{(2)} &= (S)_C^{(2)} + B_{22} + + \text{Max} [\text{Probabilidade de Mudança } i \times \text{Impacto } j] \\
 &= (S)_C^{(2)} + B_{22} + \text{Max} \{ (1 - M_{AC}^{(2)}) \times (F_A^{(2)} - S_C^{(2)}) \} \\
 &= (S)_C^{(2)} + B_{22} + \text{Max} [0,15 \times (6 - 4,5)] \\
 &= 4,5 + 7 + 0,225 = 11,725
 \end{aligned}$$

Fazendo o procedimento para todas as tarefas e todos os momentos de repasse de informação, tendo em vista a função objetivo de minimizar o tempo total do projeto, obtém-se o seguinte resultado:

Menor tempo de projeto igual a 12,5 unidades de tempo. Para tal tempo encontrado, obtiveram-se 107 cenários de planejamento de projeto, considerando o repasse de informação entre as tarefas. A variação ocorre entre os repasses da informação entre a tarefa A e a tarefa D (podendo variar de 0,8 a 1,0) e entre as tarefas A e E (podendo variar de 0 a 1,0). Em todas as configurações, o tempo final de projeto é 12,5, e as datas de início e fim de cada tarefa são constantes. A Tabela 8 a seguir resume os resultados:

TEMPO DO PROJETO	TEMPO EM RETRABALHO	MOMENTOS DE REPASSE DA INFORMAÇÃO DE I->J				
		A-C	A-D	E-D	A-E	C-E
12,5000	1,70	0,80	0,8 a 1,0	1,00	0 a 1,0	0,60

	Início	Fim	Tempo Total	Retrabalho	Em %
A	0,00	6,00	6,00	0,00	0%
B	0,00	8,00	8,00	0,00	0%
C	4,20	11,56	7,36	0,36	5%
D	8,50	12,50	4,00	0,00	0%
E	8,20	10,54	2,34	1,34	57%

Tabela 8: Resumo dos Resultados do Caso 2

Assim, o menor tempo de projeto para o exemplo é 12,5 unidade de tempo, tendo em vista os momentos de repasse de informação apresentados na tabela 8. A tarefa A deve repassar a informação para a tarefa C a 0,8 unidades de

tempo em relação a sua duração, ou seja, 4,8 unidades de tempo ($=0,8 \times 6$). A tarefa A pode repassar para a tarefa D em 0,8, 0,85, 0,9, 0,95 ou 1,0 unidade de tempo em relação a sua duração, ou seja, 4,8 ($=0,8 \times 6$), 5,1 ($=0,85 \times 6$), 5,4 ($=0,9 \times 6$), 5,7 ($=0,95 \times 6$) ou 6 ($=1,0 \times 6$) respectivamente. Isto indica os momentos possíveis de se repassar a informação entre as tarefas A e D de forma a obter o menor tempo de projeto. E deve repassar para D em 1 unidade de tempo em relação a sua duração, ou seja, 1 ($=1,0 \times 1$) - neste caso não houve sobreposição. A tarefa A pode repassar para E em 0 unidade de tempo - neste caso há sobreposição máxima; 0,05, 0,1, 0,15 ...até 1,0 unidade de tempo em relação a sua duração. E a tarefa C deve repassar a informação para E a 4,2 ($=0,6 \times 7$).

Assim, obtém-se o Gráfico de Gantt representado na Figura 29:

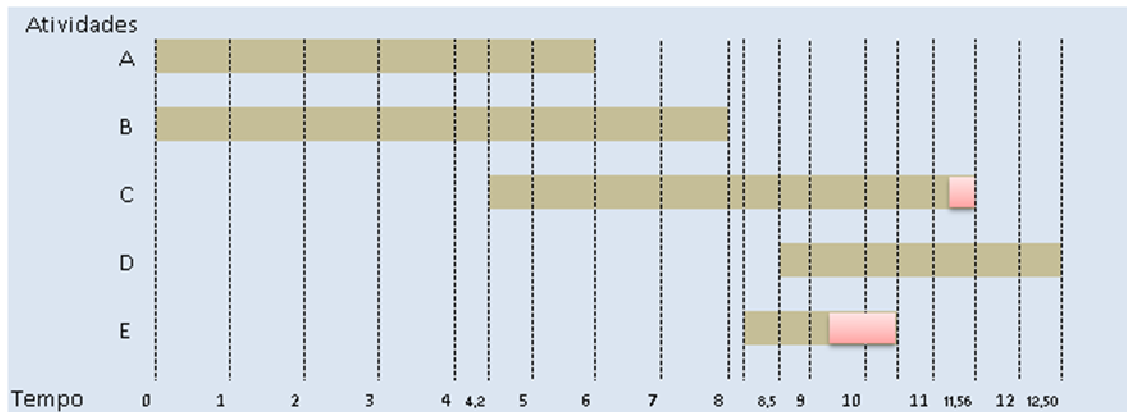


Figura 29: Gráfico de Gantt, para o Caso 2

(ii) Considerações:

O modelo identifica para o exemplo em questão como menor tempo de projeto o valor 12,5 unidades de tempo. Observa-se que existe um percentual de retrabalho de 13,6% $(=(1,7 / 12,5) * 100\%)$ em relação ao tempo total do projeto. Esse tempo pode ser considerado como um tempo esperado relativo ao risco de se retrabalhar a informação (probabilidade de erro no repasse x impacto gerado), tendo em vista o menor tempo de projeto obtido. Tal tempo é observado nas tarefas C e E, nas quais existe um tempo estimado de se retrabalhar a informação de respectivamente 0,36 unidades de tempo e 1,34 unidades de tempo, e que são acrescidas ao tempo da tarefa. Esta estimativa de retrabalho, por exemplo, pode ser prevista considerando-se a maior complexidade do processo e ou à interdependência entre tarefas.

4ª Parte: - Caso 3 - *Cálculo dos tempos de projeto e os custos associados a ele, considerando as diversas possibilidades de repasse de informação entre tarefas e o impacto do retrabalho potencial no processo.*

(i) Para esta parte, utiliza-se o modelo proposto, mas considerando os parâmetros de custo de trabalho e custo de retrabalho. Aqui, o objetivo passa a ser a minimização do custo total do projeto. As informações anteriores são novamente utilizadas, mas considerando agora os custos unitários de se trabalhar a informação e os custos de se retrabalhar a informação em cada tarefa, conforme observado na Tabela 9:

Custos Unitários de Trabalho e Retrabalho		
Tarefa	TRABALHO (α)	RETRABALHO (β)
A	1,0	2,0
B	2,0	2,5
C	1,4	1,7
D	3,0	6,0
E	1,9	2,3

Tabela 9: Custos de Trabalho e Retrabalho de cada atividade para o exemplo

Os mesmos 33.075 diferentes cenários_são gerados (K), apresentando como diferenciação em relação ao Caso 2 apenas os valores de custos associados a cada cenário.

Assim, utilizando-se o modelo proposto, segue uma iteração realizada no exemplo, para fins ilustrativos:

$$K=1 (M_{AC} = 0,8 ; M_{DA} = 0,8 ; M_{ED} = 0,7 ; M_{AE} = 0 ; M_{CE} = 0,6)$$

Para $M_{AC} = 0,8$

$$\begin{aligned} (S)_C^{(1)} &= \text{Max} [(S)_A^{(1)} + (M_{AC}^{(1)} \times B_{11}) + (H_{21}) - (C_{21} \times C_{22})] \\ &= \text{Max} [0 + (0,8 \times 6) + 0,1 - (0,1 \times 7)] = 4,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (F)_C^{(1)} &= (S)_C^{(1)} + B_{22} + \text{Max} [\text{Probabilidade de Mudança } i \times \text{Impacto } j] \\ &= (S)_C^{(1)} + B_{22} + \text{Max} \{ (1 - M_{AC}^{(1)}) \times (F_A^{(1)} - S_C^{(1)}) \} \\ &= (S)_C^{(1)} + B_{22} + \text{Max} [0,2 \times (6 - 4,2)] \\ &= 4,2 + 7 + 0,36 = 11,46 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{Total\ c}^{(1)} &= \{ B_{22} \} \times \alpha_c \\ &= \{ 7,0 \} \times 1,4 = 9,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_{Total\ c}^{(1)} &= \{ ((F)_c - (S)_c) - B_{22} \} \times \beta_2 \\ &= \{ (11,46 - 4,2) - 7,0 \} \times 1,7 = 0,442 \end{aligned}$$

$$K=2 (M_{AC} = 0,85 ; M_{DA} = 0,8 ; M_{ED} = 0,7 ; M_{AE} = 0 ; M_{CE} = 0,6)$$

Para $M_{AC} = 0,85$

$$\begin{aligned}(S)_C^{(2)} &= \text{Max} [(S)_A^{(2)} + (M_{AC}^{(2)} \times B_{11}) + (H_{21}) - (C_{21} \times C_{22})] \\ &= \text{Max}[0 + (0,85 \times 6) + 0,1 - (0,1 \times 7)] = 4,5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(F)_C^{(2)} &= (S)_C^{(2)} + B_{22} + \text{Max} [\text{Probabilidade de Mudança } i \times \text{Impacto } j] \\ &= (S)_C^{(2)} + B_{22} + \text{Max} \{ (1 - M_{AC}^{(2)}) \times (F_A^{(2)} - S_C^{(2)}) \} \\ &= (S)_C^{(2)} + B_{22} + \text{Max} [0,15 \times (6 - 4,5)] \\ &= 4,5 + 7 + 0,225 = 11,725\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{Total\ c}^{(2)} &= \{ B_{22} \} \times \alpha_c \\ &= \{ 7,0 \} \times 1,4 = 9,8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_{Total\ c}^{(2)} &= \{ ((F)_c - (S)_c) - B_{22} \} \times \beta_2 \\ &= \{ (11,725 - 4,5) - 7,0 \} \times 1,7 = 0,382\end{aligned}$$

Fazendo o procedimento para todas as tarefas e todos os momentos de repasse de informação, tendo em vista a função objetivo de minimizar o custo total do projeto, obtém-se o seguinte resultado:

Menor custo de projeto igual a 45,7 unidades de custo, cujo tempo de projeto estimado é de 16,5 unidades de tempo. Para tal custo encontrado, obtiveram-se 105 cenários de planejamento de projeto. A variação ocorre em meio aos repasses da informação entre a tarefa *A* e a tarefa *D* (podendo variar de 0,8 a 1,0) e entre as tarefas *A* e *E* (podendo variar de 0 a 1,0). Em todas as configurações apresentadas a seguir, o tempo final de projeto é 16,5 unidades de tempo, o custo total do projeto é de 45,7 unidades de custo e as datas de

início e fim de cada tarefa são constantes. Pode-se observar também a não existência de retrabalho. A Tabela 10 a seguir resume os resultados:

CUSTO DO PROJETO	TEMPO DO PROJETO	TEMPO EM RETRABALHO	MOMENTOS DE REPASSE DA INFORMAÇÃO DE I->J				
			A-C	A-D	E-D	A-E	C-E
45,7000	16,5000	0,00	1,00	0,8 a 1,0	1,00	0 a 1,0	1,00

	Início	Fim	Tempo Total	Retrabalho	Em %
A	0,00	6,00	6,00	0,00	0%
B	0,00	8,00	8,00	0,00	0%
C	5,40	12,40	7,00	0,00	0%
D	12,50	16,50	4,00	0,00	0%
E	12,20	13,20	1,00	0,00	0%

Tabela 10: Resumo dos Resultados Caso 3

Assim, o menor custo de projeto para o exemplo é 45,7 unidades de custo, obtendo-se um tempo de projeto de 16,5 unidades de tempo, e tendo em vista os momentos de repasse de informação apresentados na Tabela 10. A deve repassar a informação para C a 1,0 unidade de tempo em relação a sua duração, ou seja, 6 unidades de tempo ($=1,0 \times 6$). A pode repassar para D em 0,8, 0,85, 0,9, 0,95 ou 1,0 unidade de tempo em relação a sua duração, ou seja, 4,8 ($=0,8 \times 6$), 5,1 ($=0,85 \times 6$), 5,4 ($=0,9 \times 6$), 5,7 ($=0,95 \times 6$) ou 6 ($=1,0 \times 6$) respectivamente. E deve repassar para D em 1 unidade de tempo em relação a sua duração, ou seja, 1 ($=1,0 \times 1$) - nesse caso não houve sobreposição. A pode repassar para E em 0 unidade de tempo – nesse caso há sobreposição máxima; 0,05, 0,1, 0,15 (...) até 1,0 unidade de tempo em relação à sua duração. E C deve repassar a informação para E a 7 unidades de tempo ($=1,0 \times 7$).

Assim, obtém-se o Gráfico de Gantt representado na Figura 30:

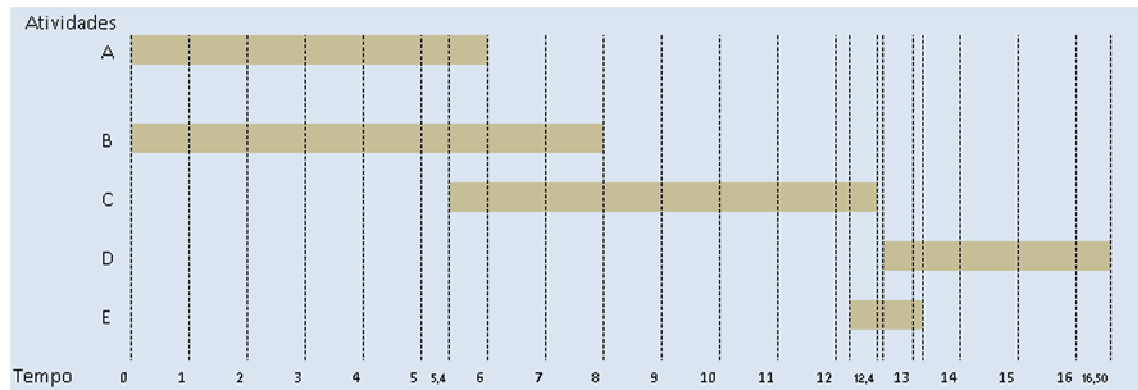


Figura 30: Gráfico de Gantt, para o Caso 3

(ii) Considerações:

O modelo identifica para o exemplo em questão como menor custo de projeto o valor 45,7 unidades de custo, tendo como tempo de projeto 16,5 unidades de tempo. Observa-se que não existe retrabalho nesse caso, obtendo-se um custo total menor.

Pode-se realizar uma análise comparativa entre os tempos esperados de projeto e o custo associado. Conforme o gráfico da Figura 31, observa-se que o custo de projeto é inversamente proporcional a seu tempo de realização.

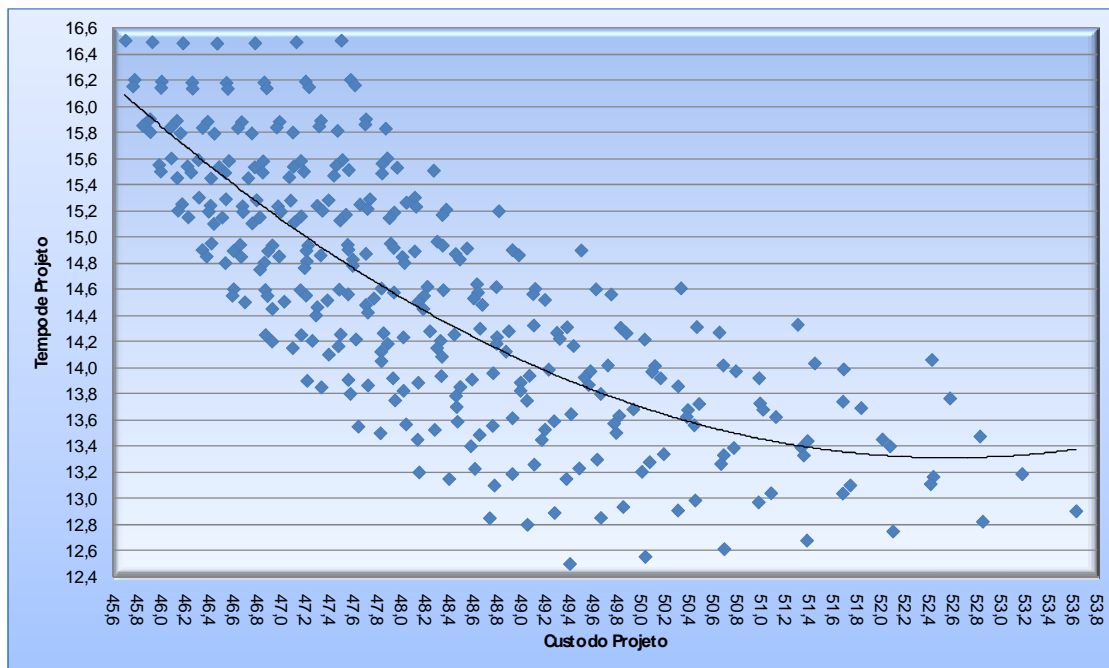


Figura 31: Gráfico comparativo Tempo x Custo de Projeto

Por meio do gráfico, verifica-se que o tempo de projeto do Caso 2, sendo ele o menor tempo estimado de projeto (12,5 unidades de tempo), teria um custo estimado de 49,40 unidades de custo.

3.5 Discussão dos resultados obtidos com a aplicação do modelo em um exemplo numérico

Observa-se no exemplo numérico apresentado que ao considerar o seqüenciamento de projeto, bem como seus tempos de execução e relações de precedência, mas sem a aplicação das técnicas de engenharia simultânea, obtém-se o maior tempo de projeto (18 unidades de tempo). Ao utilizar o modelo de Maheswari (2005) no exemplo numérico obtém-se um tempo de 11,9 unidades de tempo. No entanto, tal modelo considera a sobreposição de tarefas, mas desconsidera a incerteza potencial no repasse precipitado das

informações, previsto por Krishnan *et al.* (1997). Ao buscar uma aproximação na realidade de projetos, observa-se um tempo de projeto estimado em 12,5 unidades de tempo. Tal tempo de projeto foi obtido ao utilizarmos o modelo proposto que considera a incerteza da informação e a busca pelo melhor momento de se repassar a informação entre as tarefas. Esse é um tempo maior que o obtido pelo modelo de Maheswari, por considerar os acréscimos de tempo devido ao retrabalho de informações repassadas prematuramente por meio da sobreposição.

Refinando a análise e inserindo os elementos de custo de se trabalhar a informação e custo de se retrabalhar a informação, obtém-se uma perspectiva comparativa entre os dois parâmetros. No exemplo numérico em questão, claramente há um relação de troca, trade-off, entre o tempo total do projeto considerando o retrabalho e o custo associado ao mesmo. Assim, cabe ao gestor do projeto definir, dentre as opções identificadas pelo modelo, a melhor relação de tempo e custo de projeto. Para o caso de se procurar o menor custo total de projeto, o tempo estimado seria de 16,5 unidades de tempo. A Tabela 11 resume os resultados:

	Custo do Projeto	Tempo de Projeto	Sobreposição de Tarefas	Tempo de Comunicação	Incerteza da Informação
Sem Sobreposição	-	18,0	Desconsiderado	Desconsiderado	Desconsiderado
Modelo Maheswari	-	11,9	Considerado	Desconsiderado	Desconsiderado
Modelo Proposto					
Objetivo: Min Tempo	49,4	12,5	Considerado	Considerado	Considerado
Objetivo: Min Custo	45,7	16,5	Considerado	Considerado	Considerado

Tabela 11: Resumo dos Resultados

Um ponto a ser considerado é que no exemplo teórico em questão, o menor tempo de projeto (12,5 unidades de tempo) não apresenta o maior custo de projeto, e sim, um custo intermediário dentre os valores obtidos. Tal fato ocorre por ter sido identificado pelo modelo um conjunto de pontos de repasse de informação entre as tarefas, que gera um menor tempo de retrabalho de projeto de 12,5 unidades de tempo, se comparado ao conjunto de pontos que gera um tempo de projeto de 12,9 unidades de tempo. Nesse caso, se o objetivo fosse

buscar uma relação de custo e benefício (Custo do Projeto / Tempo de Projeto), a opção dos pontos de repasse que geram um tempo de projeto de 12,5 unidades de tempo teria uma classificação intermediária, tendo em vista o custo intermediário dentro das possibilidades apresentadas. A Tabela 12 exemplifica a questão:

Projeto	Custo do Projeto	Tempo de Projeto	Tempo em Retrabalho	Custo x Benefício **	MOMENTOS DE REPASSE DA INFORMAÇÃO DE I-> J Tarefas				
					A->C	A->D	E->D	A->E	C->E
Menor Custo	45,7	16,5	0,0	2,77	1,0	0,8 a 1,0	1,0	0 a 1,0	1,0
Maior Custo	53,6	12,9	7,9	4,16	0,8	0,8 a 1,0	0,7	0 a 1,0	0,6
Menor Tempo	49,4	12,5	3,7	3,95	0,8	0,8 a 1,0	1,0	0 a 1,0	0,60
Maior Tempo*									
Configuração 1	45,7	16,5	0,0	2,77	1,0	0,8 a 1,0	1,0	0 a 1,0	1,0
Configuração 2	47,5	16,5	0,3	2,87	1,0	0,8 a 1,0	0,7	0 a 1,0	1,0
Melhor CustoxBenefício	45,7	16,5	0,0	2,77	1,0	0,8 a 1,0	1,0	0 a 1,0	1,0
Pior CustoxBenefício	53,6	12,9	7,9	4,16	0,8	0,8 a 1,0	0,7	0 a 1,0	0,6

* O maior tempo de projeto apresenta 2 configurações de pontos de repasse de informação, em que ambos geram o mesmo tempo de projeto, mas geram dois custos de projeto

** Custo do Projeto / Tempo do Projeto

Tabela 12: Principais Funções Objetivo e resultados obtidos

3.6 Contribuição da formulação matemática

Mesmo considerando a DSM como importante ferramenta de planejamento e seqüenciamento de projetos, é importante considerar seu uso conjunto com outras ferramentas de Gerenciamento de Projetos, de forma a obter resultados eficazes. (CHO, 2001; STEWARD *et al.*, 2004 *apud* MAHEWARI *et al.*, 2005).

Neste capítulo apresentou-se um modelo de análise do seqüenciamento do projeto (obtido por meio do DSM e representado por um gráfico de Gantt) e a identificação dos momentos possíveis de troca de informação entre as tarefas. Para tanto, levaram-se em consideração os riscos inerentes ao processo de se repassar a informação de forma precipitada, ao buscar a sobreposição de tarefas e a efetivação dos conceitos de engenharia simultânea.

A presente formulação focou um planejamento de projetos que considera as premissas de sobreposição de tarefas, necessidade de tempo de comunicação para o repasse da informação e impacto gerado pela incerteza da informação. Assim, por meio de um exemplo numérico, pôde-se verificar a funcionalidade

do modelo, bem como a aplicação da ferramenta DSM considerando-se tais parâmetros inerentes a um projeto. No próximo capítulo, será aplicado o modelo proposto em um projeto real, de forma a realizar uma análise do melhor momento de repasse da informação entre tarefas, considerando o objetivo de minimização do tempo total de projetos e a incerteza da informação, considerando também os custos de trabalho e retrabalho. Objetivo principal do próximo capítulo é verificar a aderência prática da formulação proposta (casos 2 e 3).



CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO

4.1 Introdução

Tendo como base a exposição teórica realizada nos capítulos anteriores, o objetivo deste capítulo é descrever a utilização da ferramenta DSM e do modelo elaborado em um projeto real de uma empresa de distribuição de combustíveis. Procurou-se realizar uma descrição detalhada que permitisse explicitar os fatores que caracterizam a utilização da ferramenta e do modelo, as limitações e os benefícios observados e as características do processo de aplicação identificadas durante o trabalho. Assim, o capítulo está dividido em quatro grandes partes: introdução, metodologia de pesquisa, relato do caso e conclusão. Identifica-se como principal conclusão do capítulo que a aplicação de ferramentas gerenciais que auxiliam na tomada de decisão é fundamental para a obtenção da melhor relação de custo e benefício em um planejamento de projetos e que tal planejamento deve ser condizente com a natureza do projeto e com as necessidades da empresa.

O caso relatado é resultante de uma aplicação da ferramenta DSM e do modelo elaborado em uma etapa de um projeto de construção de uma nova instalação operacional da empresa de distribuição de combustível foco do trabalho.

4.2 Metodologia

Optou-se pela técnica de estudo de caso para ilustrar a aplicabilidade do modelo. Muitos dos conceitos e teorias inovadoras em gestão de operação, da produção enxuta às estratégias de manufatura, têm sido desenvolvidos por meio de estudos de caso (VOSS *et al.*, 2002). Tem-se observado que tal metodologia vem garantindo que o conhecimento teórico gerado nas pesquisas se torne aplicável e impacte na operação das empresas. Observa-se também que os modelos matemáticos desenvolvidos vêm se aproximando do real contexto em que as companhias se encontram (BERTRAND; FRANSOO, 2002).

Para Yin (1994), o estudo de caso deve ser adotado quando questões a serem respondidas são do tipo “por quê” ou “como”, quando o pesquisador possui pouco controle sobre os eventos a serem investigados e quando o foco está em um fenômeno contemporâneo inserido em um contexto na vida real. Estudos de caso podem envolver um único caso ou um conjunto de casos, e vários níveis de análise (YIN, 1994). Caracteriza ainda o estudo de caso exploratório como sendo uma apurada apresentação dos fatos observados e uma análise explicativa dos mesmos.

Os estudos de caso combinam diversos métodos de coleta de dados, incluindo-se a utilização de arquivos, entrevistas, questionários e observações, e as evidências desse levantamento podem ser qualitativas (e.g. palavras ou informações gerais), quantitativas (e.g. números) ou ambas (EISENHARDT, 1989).

Assim, as principais fontes de informação utilizadas neste trabalho foram:

- (a) Dados qualitativos e quantitativos relativos à empresa foco do estudo, provenientes de documentações fornecidas pela empresa;
- (b) Informações provenientes de entrevistas semi-estruturadas com os envolvidos no planejamento do projeto foco de análise;
- (c) Bibliografia detalhada neste trabalho.

A seguir, apresentaremos a descrição da empresa, a caracterização do projeto e a aplicação do modelo. Ao final discutiremos os resultados obtidos.

4.3 Empresa A

A Empresa A atua no segmento de distribuição de derivados de petróleo e seus correlatos. Ela assumiu o posto de maior distribuidora de derivados de petróleo do País, exercendo sua função em caráter estritamente competitivo - em condições de igualdade com as demais distribuidoras.

A empresa tem abrangência nacional, atuando em todos os estados da federação. Tem por objetivo, além da distribuição, do comércio e da industrialização de produtos de petróleo e derivados, atividades de importação e exportação. Essa empresa, líder no segmento em que atua, possui cerca de 40% de participação do mercado nacional.

Possui em seu leque de produtos: álcool anidro, álcool hidratado, gasolina, diesel marítimo, dieseis automobilísticos, lubrificantes automotivos, querosene, entre outros.

Aproximadamente 6.000 postos de serviços carregam sua marca, constituindo a maior e única rede de postos presente em todo o território nacional. Além de mais de 10 mil grandes clientes entre indústrias, termoelétricas, companhias de aviação e frota de veículos leves e pesados.

A sua estrutura organizacional é matricial e se divide em quatro diretorias, conforme apresentado na figura 32: Diretoria de Rede de Postos de Serviços, Diretoria de Mercado Consumidor, Diretoria Financeira e Diretoria de Operações e Logística.

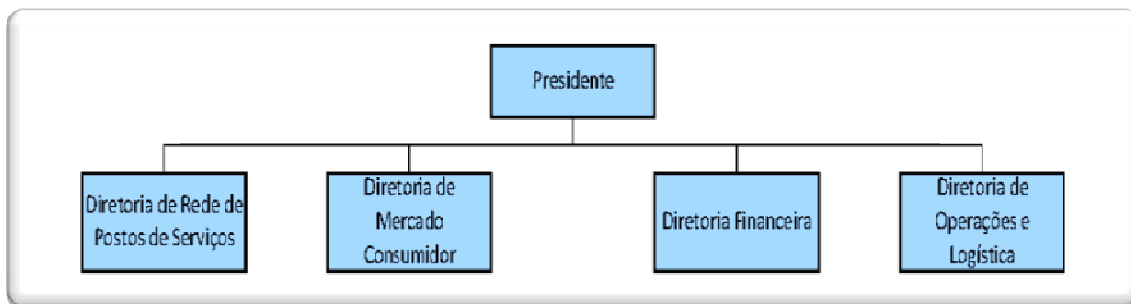


Figura 32: Estrutura Organizacional da Empresa A – Nível de Diretorias

De forma resumida, a Diretoria de Rede de Postos de Serviços e a Diretoria de Mercado Consumidor são voltadas para o atendimento aos clientes da empresa: os clientes revendedores de combustível e os grandes clientes consumidores, respectivamente.

A Diretoria Financeira lida com as questões de contabilidade, balanço e finanças da empresa.

Já a Diretoria de Operações e Logística é responsável pelo planejamento logístico e execução das operações da empresa, recebendo, armazenando, movimentando e disponibilizando os produtos comercializados pela empresa com custos competitivos, qualidade e responsabilidade social e ambiental.

Tal Diretoria possui cerca de 40 unidades operacionais, denominadas Terminais e Bases, responsáveis pelo recebimento, estocagem e distribuição de derivados de petróleo e biocombustíveis para atendimento dos clientes revendedores e dos grandes consumidores.

O plano de negócios de investimentos da Diretoria de Operações e Logística é elaborado com base nas demandas de investimentos na malha logística, nas necessidades de melhorias operacionais, de adequações dos níveis de segurança, de proteção, de meio ambiente e saúde e de automação dos terminais e bases da empresa.

Projetos de Investimento

Nos últimos dois anos, a Diretoria de Operações e Logística iniciou cerca de 500 projetos de investimento, dos quais 200 foram concluídos, 100 cancelados e 200 mantidos na carteira atual. Dos projetos concluídos, 80% foram encerrados com a necessidade de celebração de aditivos contratuais de prazo e/ou valor. Os valores envolvidos nesses projetos variam de cerca de R\$ 100 mil a R\$ 10 milhões, sendo que a média dos valores dos projetos está em torno de R\$ 1 milhão.

Foram identificadas as seguintes dificuldades gerais na condução dos projetos:

- Falta de ferramental para acompanhamento da execução dos projetos, dificultando a análise de sua evolução física e financeira;
- ausência de documentos importantes para a formalização dos dados nas fases de iniciação e de planejamento dos projetos, implicando falta de clareza nos objetivos dos projetos e soluções, por vezes, ineficazes;
- elevado número de projetos com necessidade de elaboração de aditivos contratuais relativos a prazos e valores;
- a carteira de projetos é conduzida, sendo limitada aos recursos orçamentários e à capacidade de execução das equipes, sem a adoção de uma ferramenta de classificação e priorização de projetos, que aponte quais deles estão efetivamente alinhados ao planejamento estratégico da empresa;
- a organização não possui metodologia formal com documentos padronizados. O gerenciamento de projetos é feito informalmente.

Assim, dada a necessidade crescente de investimentos, o contexto apresentado relativo ao gerenciamento de projetos na empresa e o histórico de atrasos ou estouros nos custos de alguns projetos, ferramentas que possam auxiliar o planejamento e a condução de projetos de forma sistematizada tornam-se importantes no auxílio gerencial e podem agregar valor ao negócio. A aplicação da ferramenta DSM e do modelo elaborado, que será descrita a seguir, terá como foco a análise direcionada a uma determinada etapa de planejamento do

projeto de construção de uma instalação operacional e tem como objetivo melhorar a condução de projetos na empresa.

4.4 Objetivos da utilização da ferramenta DSM e do modelo proposto

Tendo em vista elaborar o planejamento de uma etapa de um projeto de investimento da empresa em questão, de forma a incrementar e sistematizar o processo, garantir um melhor seqüenciamento das tarefas e um menor tempo de projeto, utilizou-se uma abordagem direcionada para o mapeamento do fluxo da informação e a possibilidade de sobreposição de tarefas, aplicando-se a ferramenta DSM e o modelo proposto.

O objetivo primário dessa aplicação é a obtenção de um melhor planejamento do projeto que considere os relacionamentos relativos a fluxo de informação e gere um menor tempo previsto de projeto, a um custo viável. Como objetivos secundários da análise têm-se:

- Explicitar por meio da matriz DSM os relacionamentos entre as tarefas da etapa em análise do projeto e obter seu melhor seqüenciamento;
- identificar os melhores pontos de repasse de informações entre as tarefas dessa etapa do projeto;
- identificar o menor tempo da etapa do projeto e o custo associado a esse tempo, considerando-se os conceitos de engenharia simultânea e os riscos associados ao método de sobrepor tarefas.
- apresentar uma análise comparativa entre custo e tempo da etapa do projeto;
- identificar o mapa de oportunidades de planejamento da etapa do projeto, considerando-se os diversos pontos de repasse de informação entre as tarefas.

4.5 Caracterização do tipo de projeto desenvolvido

O projeto foco de análise é um projeto de construção de uma unidade operacional, mais especificamente de uma base de distribuição de combustíveis. Uma base de distribuição é uma instalação com as facilidades necessárias ao recebimento de derivados de petróleo, álcool ou outros combustíveis, armazenamento, mistura, embalagem e distribuição, em uma dada área do mercado.

O empreendimento em questão insere-se na estratégia de distribuição da empresa, na medida em que contribui para avançar as entregas, desenvolver alternativas logísticas e adequar a infra-estrutura de forma a valorizar os negócios da empresa, bem como a busca do melhor relacionamento e satisfação dos clientes e agregação de valor para a companhia.

Tendo em vista a estratégia logística da empresa, a implantação de uma base para distribuição de derivados no município “Y” definido (será preservado o nome do município) proporciona redução do custo total da cadeia logística, devido à possibilidade de se formar preço no local, permitindo que a empresa obtenha redução do custo nas transferências de produto para atendimento do mercado.

No escopo desse projeto, está prevista a construção de uma base de distribuição, o que contempla plataformas de descarregamento, bombas de descarregamento, tanques de armazenamento de diesel, álcool anidro, álcool hidratado e biodiesel, facilidades, entre outros itens, que constituem um empreendimento de tal porte.

O objetivo do empreendimento é:

- Implantar base de distribuição de derivados e biocombustíveis no estado “X” (será preservado o nome do estado) garantindo posicionamento naquele mercado;

- atender o mercado em expansão de “X” com a instalação de base próxima à capital, com melhoria do nível de serviço aos clientes, facilitada pela proximidade ao mercado;
- garantir maior controle por parte da empresa sobre a origem dos produtos que atendem aquele mercado, otimizando seus recursos de refino, logística, política de estoque e suprimento;
- obter melhores margens na comercialização dos produtos para a empresa.

O projeto deverá ser conduzido de modo que sejam atendidas todas as etapas de execução do empreendimento, desde a sua concepção, até a entrega final da base para operação, conforme etapas abaixo:

- Fase I – Fase de identificação de oportunidade: objetiva validar a oportunidade do negócio (concluída).
- Fase II – Fase de projeto conceitual: objetiva aperfeiçoar as premissas, atualizar a análise econômica e iniciar o planejamento do projeto com a elaboração do projeto conceitual (concluída).
- Fase III – Fase do projeto básico: objetiva o desenvolvimento do escopo detalhado, do plano de execução e da estimativa de custo final.
- Fase IV – Fase de execução: objetiva produzir uma unidade segura e operacional que atenda aos objetivos do projeto, conforme definidos na Fase III.
- Fase de operação: objetiva avaliar o sucesso do projeto sob as óticas do negócio, técnica e operacional, e documentar as lições aprendidas para futuros projetos. É a fase da operação assistida da nova base.

Estima-se que o projeto seja entregue em 31 de outubro de 2011, conforme Tabela 13. Tais estimativas foram elaboradas utilizando-se a opinião de especialistas e o próprio histórico de construção desses tipos de empreendimento pela empresa.

FASES	TÉRMINO
FASE II (Concluído)	30/09/2009
FASE III	28/05/2010
CONSTRUÇÃO da BASE	30/09/2011
PRÉ-OPERAÇÃO e ENTREGA	31/10/2011

Tabela 13: Cronograma macro previsto pela empresa

Segundo identificado, as Fases I e II foram realizadas utilizando-se os conceitos do Padrão PMBoK (*Project Management Body of Knowledge*) do *Project Management Institute* e o padrão existente na empresa. O atual momento é de planejamento das fases subseqüentes (Fase III, Construção e Operação) e, para tal, é prevista também a utilização das ferramentas contidas nesses padrões.

Em cada fase foram planejadas entregas para se atingir os objetivos definidos. Tais entregas foram organizadas em uma estrutura analítica de projeto (EAP), conforme Anexo A.

4.6 Dinâmica da aplicação e resultados obtidos

Visando a uma aplicação da ferramenta e do modelo de forma objetiva, que pudesse servir como um auxílio para o planejamento do projeto e também como teste dos conceitos em um contexto real, definiu-se por aplicar o modelo e a ferramenta em uma etapa da Fase III – Fase do Projeto Básico – do projeto. A Fase III caracteriza-se por apresentar diversas entregas (conforme Anexo A) relativas a projetos básicos de infra-estrutura, automação, construção civil, licenciamentos, entre outros. A etapa definida para análise é a de “Projeto Civil”, tendo em vista a facilidade de obtenção das informações necessárias junto à empresa.

Tal etapa apresenta a seguinte estrutura de produtos esperados (Figura 33):

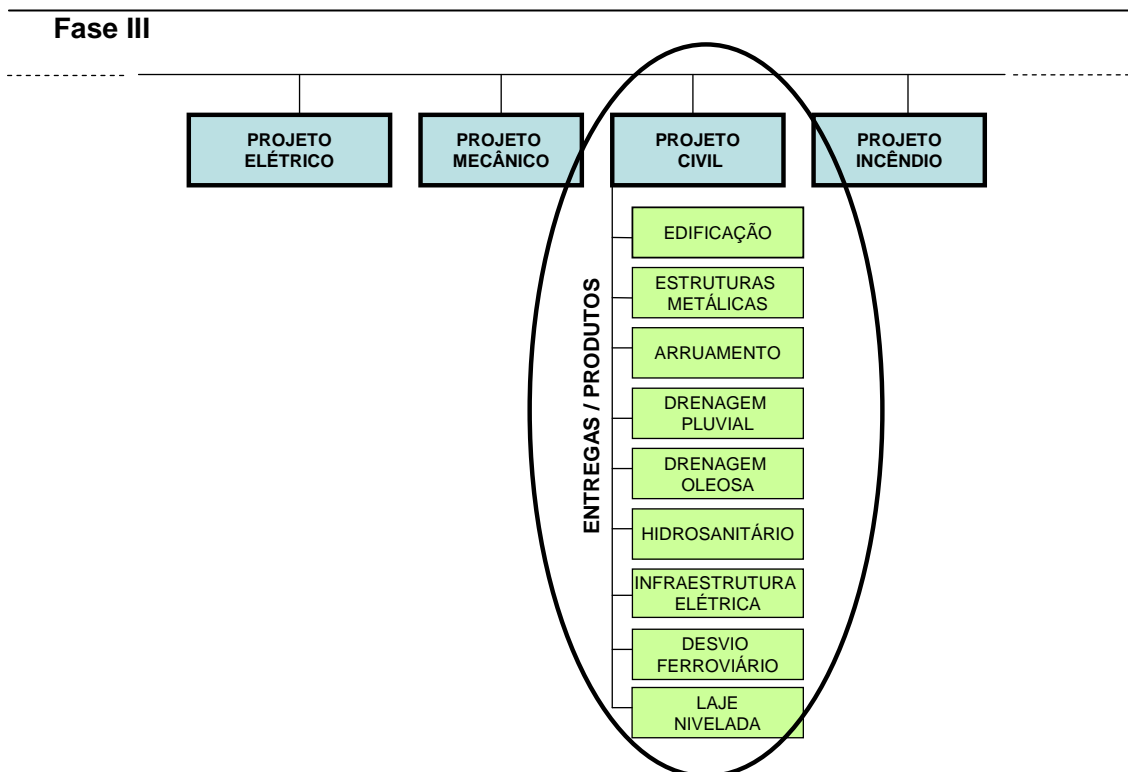


Figura 33: Etapa de “Projeto Civil “– Entregas Esperadas

Conforme apresentado no item 4.2 (Metodologia), foram utilizadas entrevistas com especialistas e envolvidos no projeto, bem como documentações, de forma a obter as informações necessárias para o planejamento de tal etapa do projeto. A dinâmica de intervenção seguiu os seguintes passos (Figura 34):

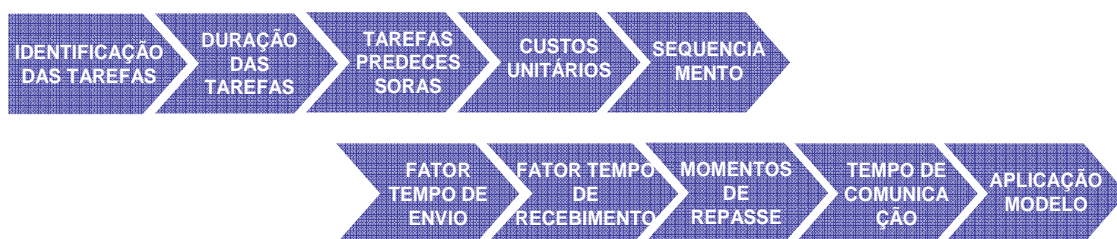


Figura 34: dinâmica de intervenção

a) Identificação das tarefas, duração, tarefas predecessoras e custos unitários

As tarefas foram mapeadas tendo em vista atingir o objetivo de elaboração do “Projeto Civil”. Assim, cada uma das tarefas previstas deve se relacionar com

as outras, para a obtenção das entregas previstas. As tarefas são apresentadas a seguir (Tabela 14), bem como sua duração, tarefas predecessoras e custos unitários de se trabalhar e retrabalhar a informação:

Item	Atividade	Predecessoras	Duração (Dias)	Custo do Trabalho (R\$/dia)	Custo do Retrabalho (R\$/dia)
1	Elaborar Edificação	10,2	40	1.920	2.304
2	Projetar Plataforma de Carregamento		40	1.920	2.304
3	Projetar Arruamento	10	10	960	1.056
4	Definir Drenagem Pluvial	10,1,2,9,3	4	480	528
5	Definir Drenagem Oleosa	10,2,9	4	480	528
6	Projetar Hidrosanitário	10,1	4	480	504
7	Infra estrutura elétrica	10,1,2,3	30	1.440	1.728
8	Definir posicao do desvio Ferroviário		10	480	576
9	Projetar Laje Nivelada	10,2	10	960	1.008
10	Realizar layout definitivo (projeto preliminar)	8	4	960	1.152

Tabela 14: Tarefas, Predecessoras, Duração e Custos Unitários do Projeto do Estudo de Caso

Utilizando-se a ferramenta DSM para a representação da etapa do projeto, obtém-se a Figura 35:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		X								X
2										
3										X
4	X	X	X						X	X
5		X							X	X
6	X									X
7	X	X	X							X
8										
9		X								X
10								X		

Figura 35: Projeto do Estudo de Caso representado em DSM

b) Seqüenciamento do Projeto

A DSM dessa etapa do projeto foi otimizado utilizando as técnicas de particionamento, obtendo-se assim o seqüenciamento do projeto (Figura 36).

	8	2	10	1	9	3	4	7	6	5
8	10									
2		40								
10	x		4							
1		x	x	40						
9		x	x		10					
3			x			10				
4		x	x	x	x	x	4			
7		x	x	x		x		30		
6			x	x					4	
5		x	x		x					4

Figura 36: DSM Particionado do Projeto Estudo de Caso

c) Fator Tempo de Envio (B_{ij} 's)

O fator tempo de envio foi obtido por meio de entrevista não estruturada com um especialista em construção civil da empresa em questão e que está envolvido no projeto. Assim obtém-se a DSM com as informações de Fator Tempo de Envio (Figura 37). Lembrando que o Fator Tempo de Envio indica o momento inicial no qual a tarefa que repassa a informação poderá enviá-la para a tarefa subsequente.

$B_{ij} =$

	8	2	10	1	9	3	4	7	6	5
8	10									
2		40								
10	0,9		4							
1		0,7	1,0	40						
9		0,7	1,0		10					
3			1,0			10				
4		0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	4			
7		1,0	1,0	0,8		0,5		30		
6			1,0	1,0					4	
5		0,5	1,0		0,5					4

Figura 37: Fator Tempo de Envio Projeto Estudo de Caso

Assim sendo, $B_{10\ 8} = 0,9$, o que indica que a tarefa 8 pode repassar a informação para a tarefa 10 após 90% de seu andamento, ou seja, quando a tarefa 8 estiver em 9 unidades de tempo ($0,9 \times 10$).

d) Fator Tempo de Recebimento (C_{ij} 's)

O fator tempo de recebimento foi obtido por meio de entrevista não estruturada com um especialista em construção civil da empresa em questão e que está envolvido no projeto. Assim obtém-se a DSM com as informações de Fator Tempo de Recebimento (Figura 38). Lembrando que o Fator Tempo de Recebimento indica o momento inicial no qual a tarefa que recebe a informação deverá recebê-la para continuar sua execução.

$C_{ij} =$

	8	2	10	1	9	3	4	7	6	5
8	10									
2		40								
10	0,1		4							
1		0,1	0,2	40						
9		0,3	0,2		10					
3			0,3			10				
4		0,0	0,2	0,0	0,1	0,2	4			
7		0,3	0,2	0,1		0,0		30		
6			0,1	0,2					4	
5		0,2	0,2		0,3					4

Figura 38: Fator Tempo de Recebimento Projeto Estudo de Caso

Assim sendo, $C_{10\ 8} = 0,1$ indica que a tarefa 8 deverá receber a informação da tarefa 10 a no máximo em 10% de seu andamento, ou seja, quando a tarefa 10 estiver em 0,4 unidade de tempo ($0,1 \times 4$).

e) Momentos de Repasse (M_{ij} 's)

Mediante a opinião dos especialistas entrevistados, definiram-se os seguintes pontos de repasse de informação entre as tarefas (Figura 39).

De atividade i -> j		8->10	2->1	2->9	2->4	2->7	2->5	10->x	1->4	1->7	1->6	9->4	9->5	3->4	3->7
Bij		0,9	0,7	0,7	0,5	1	0,5	1	0,5	0,8	1	0,5	0,5	0,5	0,5
		1	0,9	0,9	0,8		0,8		0,8	1		0,8	0,8	0,8	0,8
			1	1	1		1		1			1	1	1	1

Figura 39: Momentos de Repasse Projeto Estudo de Caso

É importante ressaltar que tais pontos têm relação direta com o tipo de relacionamento existente entre as tarefas e o tipo de interação que ocorre entre elas. Assim, atividades que possuem somente um ponto de repasse de informação (e.g. Atividade 2 -> Atividade 7) indicam que não há possibilidade de sobreposição de tarefas nesse relacionamento. A informação somente poderá ser repassada quando a tarefa que envia a informação for finalizada. Já para o caso da existência de momentos de repasse intermediários (e.g. Atividade 2 -> Atividade 1), indica a possibilidade de sobreposição de tarefas em determinados pontos específicos.

Lembrando ainda que o momento inicial em cada relacionamento é igual ao Fator Tempo de Envio da informação.

f) Tempo de Comunicação

Os tempos de comunicação são indicados na DSM da Figura 40. Tais tempos foram justificados pelos especialistas entrevistados como tempos relativos a reuniões, tempo de espera de aprovações, trocas de e-mails, videoconferências, aprovações de documentação, entre outras atividades.

Hij =

	8	2	10	1	9	3	4	7	6	5
8	10									
2		40								
10	1,0		4							
1		0,5	0,8	40						
9		1,2	0,6		10					
3			0,7			10				
4		0,7	0,5	0,5	0,3	0,4	4			
7		1,0	1,3	1,3		0,5		30		
6			1,2	1,1					4	
5		1,0	1,0		0,7					4

Figura 40: Tempo de Comunicação Projeto Estudo de Caso

Assim, $H_{10\ 8}=1,0$, indica que se demora 1,0 unidade de tempo para repassar a informação da atividade 8 para a atividade 10.

g) Aplicação do Modelo

Utilizando-se o modelo proposto, o seqüenciamento fornecido pelo particionamento da DSM, os parâmetros do projeto apresentados anteriormente e os conceitos de probabilidade de mudança (rever item 2.6), 78.732 diferentes cenários de planejamento (K) desta etapa do projeto foram identificados. Tais cenários são obtidos por meio da combinação dos diferentes momentos de repasse de informação entre tarefas.

Menor Custo

Considerando a opção de não sobrepor tarefas, ou seja, todos os momentos de troca de informação (M_{ij} 's) sendo iguais a 1,0, obtém-se o tempo de projeto igual a 104,8 dias. Para tal tempo de projeto, o custo estimado é de R\$230.400,00 e esse é o menor custo de projeto obtido.

A Tabela 15 resume as informações relativas à não sobreposição de tarefas.

Custo do Projeto	Tempo do Projeto	Tempo em Retrabalho	em %	Momentos de Repasse da Informação de $i \rightarrow j$			
				1->4	1->6	1->7	2->1
R\$ 230.400,00	104,80	0,00	0%	1,00	1,00	1,00	1,00
				2->4	2->5	2->7	2->9
				1,00	1,00	1,00	1,00
				3->4	3->7	8->10	9->4
				1,00	1,00	1,00	1,00
				9->5	10->1	10->3	10->4
				1,00	1,00	1,00	1,00
				10->5	10->6	10->7	10->9
				1,00	1,00	1,00	1,00

Tabela 15: Resumo Resultados Menor Custo - Projeto Estudo de Caso

Tal opção representa que todas as informações são repassadas somente após a conclusão de cada atividade. Assim, não há risco de retrabalho da informação, não sendo considerados os incrementos no tempo e no custo de projeto. Todo custo e tempo do projeto são relativos ao trabalho.

As datas de início e fim de cada tarefa são constantes. As seguintes datas de início e fim de cada atividade são obtidas para o menor tempo de projeto obtido (Tabela 16):

Atividade	Início	Fim	Tempo Total (Dias)	Retrabalho	Em %
1	36,50	76,50	40,00	0,0	0%
2	0,00	40,00	40,00	0,0	0%
3	12,30	22,30	10,00	0,0	0%
4	77,00	81,00	4,00	0,0	0%
5	47,70	51,70	4,00	0,0	0%
6	76,80	80,80	4,00	0,0	0%
7	74,80	104,80	30,00	0,0	0%
8	0,00	10,00	10,00	0,0	0%
9	38,20	48,20	10,00	0,0	0%
10	10,60	14,60	4,00	0,0	0%

Tabela 16: Resumo Data Início e Fim - Menor Custo - Projeto Estudo de Caso

O gráfico de Gantt da Figura 41 apresenta o seqüenciamento esperado.

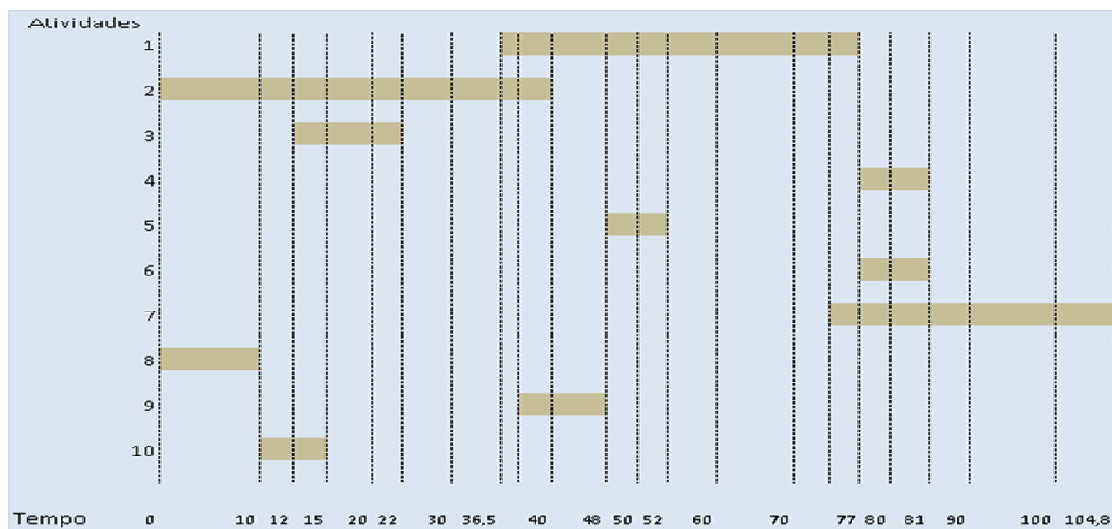


Figura 41: Gráfico de Gantt Menor Custo - Projeto Estudo de Caso

Menor Tempo

O Menor Tempo de Projeto obtido foi 87,67 dias. Para tal tempo encontrado, obtiveram-se 13.122 cenários de planejamento de projeto, considerando o repasse de informação entre as tarefas. A variação ocorre entre os repasses da informação entre a tarefa 1 e a tarefa 4 (com momentos de repasse iguais a 0,5 e 0,8), entre as tarefas 2 e 4 (com momentos de repasse iguais a 0,5, 0,8 e 1,0), entre as tarefas 2 e 5 (com momentos de repasse iguais a 0,5, 0,8 e 1,0), entre as tarefas 2 e 9 (com momentos de repasse iguais a 0,7, 0,9 e 1,0), entre as tarefas 3 e 4 (com momentos de repasse iguais a 0,5, 0,8 e 1,0), entre as tarefas 3 e 7 (com momentos de repasse iguais a 0,5, 0,8 e 1,0), entre as tarefas 8 e 10 (com momentos de repasse iguais a 0,9 e 1,0), entre as tarefas 9 e 4 (com momentos de repasse iguais a 0,5, 0,8 e 1,0) e entre as tarefas 9 e 5 (com momentos de repasse iguais a 0,5, 0,8 e 1,0). Em todas as configurações, o tempo final de projeto é 87,67 dias. Porém, o custo varia entre R\$ 246.072,96 e R\$ 259.212,72. A Tabela 17 a seguir resume os resultados:

Custo do Projeto	Tempo do Projeto	Tempo em Retrabalho	em %	Momentos de Repasse da Informação de i -> j			
				1->4	1->6	1->7	2->1
R\$ 246.072,96 a R\$ 259.212,72	87,6700	7,52 a 28,6	8,5% a 32,6%	0,5 / 0,8	1,00	0,80	0,70
				2->4	2->5	2->7	2->9
				0,5 / 0,8 / 1,0	0,5 / 0,8 / 1,0	1,00	0,7 / 0,9 / 1,0
				3->4	3->7	8->10	9->4
				0,5 / 0,8 / 1,0	0,5 / 0,8 / 1,0	0,9 / 1,0	0,5 / 0,8 / 1,0
				9->5	10->1	10->3	10->4
				0,5 / 0,8 / 1,0	1,00	1,00	1,00
				10->5	10->6	10->7	10->9
				1,00	1,00	1,00	1,00

Tabela 17: Resumo Resultados Menor Tempo - Projeto Estudo de Caso

As datas de início e fim de cada tarefa são constantes, com exceção das tarefas 3, tarefa 4, tarefa 5, tarefa 9 e tarefa 10. As seguintes datas de início e fim de cada atividade são obtidas para o menor tempo de projeto obtido (Tabela 18):

Atividade	Início	Fim	Tempo Total (Dias)	Retrabalho	Em %
1	24,50	69,15	44,65	4,7	10%
2	0,00	40,00	40,00	0,0	0%
3	11,3 / 12,3	21,3 / 22,3	10,0 / 10,0	0,0	0%
4	45 / 46,1 ... / 57	61,0 / 61,6 ... / 69,0	16 / 15,5 ... / 12,0	12 / 11,5 / 8,0	75% / 74% / 67%
5	30,7 / 32,2 ... / 47,7	39,0 / 39,5 ... / 51,7	8,3 / 7,3 ... / 4,0	4,3 / 3,3 ... / 0,0	52% / 45% ... / 0%
6	64,80	68,80	4,00	0,0	0%
7	54,80	87,67	32,87	2,8	9%
8	0,00	10,00	10,00	0,0	0%
9	26,2 / 34,2 / 38,2	40,3 / 44,7 / 48,2	14,1 / 10,5 / 10	4,1 / 0,5 / 0	29% / 4% / 0%
10	9,6 / 10,6	13,6 / 14,6	4,0 / 4,0	0,0	0%

Tabela 18: Resumo Data Início e Fim - Menor Tempo - Projeto Estudo de Caso

Menor Custo dentro das opções de Menor Tempo

A melhor relação de custo e benefício dentro das opções de menor tempo (87,67 dias) de projeto pode ser identificada quando se obtém um custo igual a R\$ 246.072,96. Tal caso apresenta 243 diferentes configurações de planejamento da etapa do projeto. A variação ocorre entre as tarefas 2 e 4 (com momentos de repasse iguais a 0,5, 0,8 e 1,0), entre as tarefas 2 e 5 (com momentos de repasse iguais a 0,5, 0,8 e 1,0), entre as tarefas 3 e 4 (com momentos de repasse iguais a 0,5, 0,8 e 1,0), entre as tarefas 3 e 7 (com momentos de repasse iguais a 0,5, 0,8 e 1,0) e entre as tarefas 9 e 4 (com momentos de repasse iguais a 0,5, 0,8 e 1,0). Em todas as configurações, o tempo final de projeto é 87,67 dias, e o custo estimado é de R\$ 246.072,96. A Tabela 19 resume os resultados:

Custo do Projeto	Tempo do Projeto	Tempo em Retrabalho	em %	Momentos de Repasse da Informação de i -> j			
				1->4	1->6	1->7	2->1
R\$ 246.072,96	87,67	7,52	9%	1,00	1,00	0,80	0,70
				2->4	2->5	2->7	2->9
				0,5 / 0,8 / 1,0	0,5 / 0,8 / 1,0	1,00	1,00
				3->4	3->7	8->10	9->4
				0,5 / 0,8 / 1,0	0,5 / 0,8 / 1,0	1,00	0,5 / 0,8 / 1,0
				9->5	10->1	10->3	10->4
				1,00	1,00	1,00	1,00
				10->5	10->6	10->7	10->9
				1,00	1,00	1,00	1,00

Tabela 19: Resumo Resultados Menor Custo dentro das opções de Menor Tempo - Projeto Estudo de Caso

As datas de início e fim de cada tarefa são constantes. As seguintes datas de início e fim de cada atividade são obtidas para o menor tempo de projeto obtido (Tabela 20):

Atividade	Início	Fim	Tempo Total (Dias)	Retrabalho	Em %
1	24,50	69,15	44,65	4,7	10%
2	0,00	40,00	40,00	0,0	0%
3	12,30	22,30	10,00	0,0	0%
4	65,00	69,00	4,00	0,0	0%
5	47,70	51,70	4,00	0,0	0%
6	64,80	68,80	4,00	0,0	0%
7	54,80	87,67	32,87	2,9	9%
8	0,00	10,00	10,00	0,0	0%
9	38,20	48,20	10,00	0,0	0%
10	10,60	14,60	4,00	0,0	0%

Tabela 20: Resumo Data Início e Fim - Menor Custo dentro das opções de Menor Tempo - Projeto Estudo de Caso

O gráfico de Gantt da Figura 42 apresenta o seqüenciamento esperado:

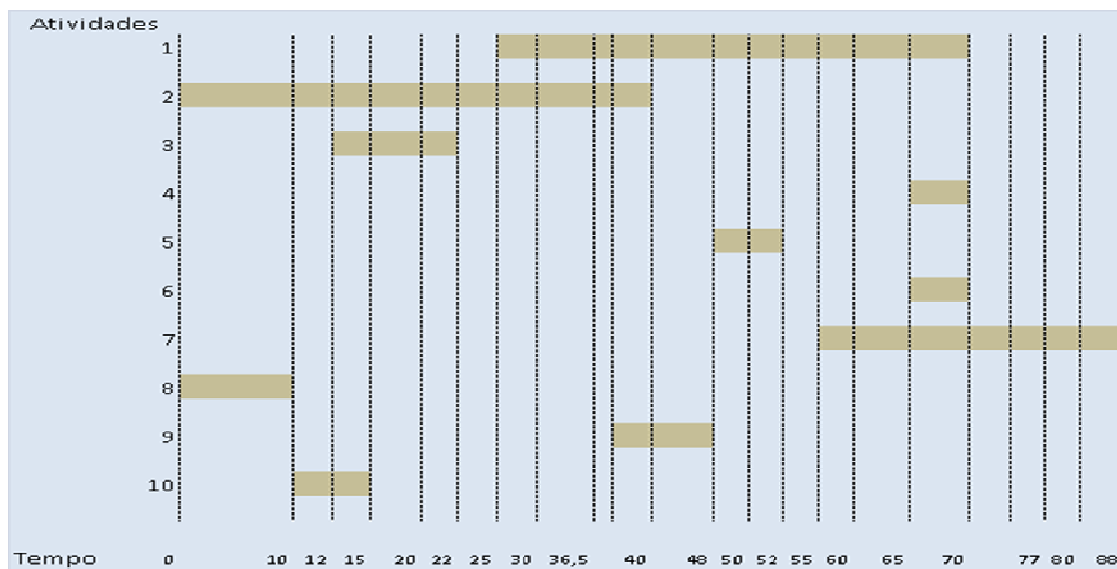


Figura 42: Gráfico de Gantt - Menor Custo dentro das opções de Menor Tempo - Projeto Estudo de Caso

4.7 Discussão dos Resultados

Em uma primeira observação e considerando-se apenas as premissas de seqüenciamento de tarefas, o tempo estimado do projeto seria de 111,5 dias, e o custo estimado de R\$ 230.400,00. Tal planejamento é o tradicionalmente obtido ao não se considerar a sobreposição de tarefas (desconsiderando-se, portanto, os tempos de recebimento de informação e os tempos de envio).

Conforme apresentado, ao se considerar os conceitos de sobreposição de tarefas, especificamente o Fator Tempo de Recebimento da Informação, e considerar que o repasse poderá ocorrer somente após a finalização da tarefa predecessora, o tempo obtido é de 104,8 dias, a um custo estimado de R\$230.400,00. Tal tempo obtido é devido à possibilidade de algumas tarefas poderem iniciar sem a informação da atividade predecessora. Apenas após um determinado período (Fator Tempo de Recebimento), é que a atividade demanda a informação para prosseguir seu desenvolvimento. Nesse caso, não existem riscos de retrabalho, dado que a informação somente é repassada para a tarefa sucessora após a conclusão da tarefa que fornece a informação. Não há custos de retrabalho e o custo total é o mesmo obtido com o seqüenciamento tradicional.

Pode-se realizar uma análise comparativa entre os tempos esperados de projeto e o custo associado. Conforme o gráfico da Figura 43, observa-se que o custo do projeto é inversamente proporcional a seu tempo de realização.

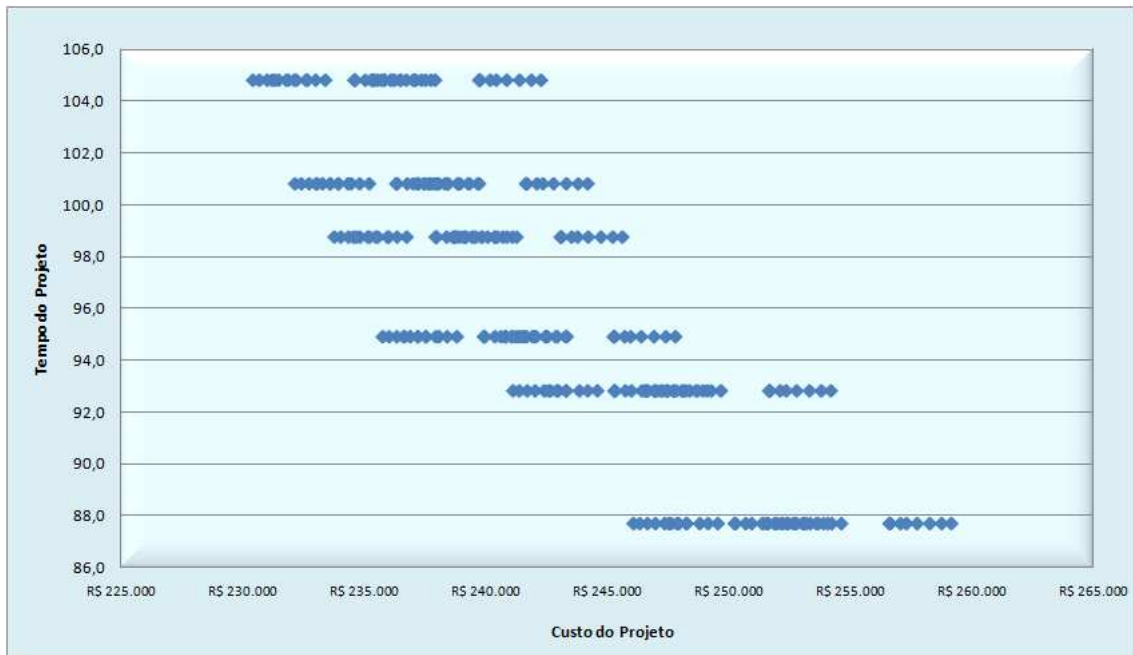


Figura 43: Gráfico comparativo Tempo x Custo de Projeto - Projeto Estudo de Caso

Assim, cabe ao gestor de projetos definir, dentre as opções identificadas pelo modelo, a melhor relação de tempo de projeto e custo de projeto.

Outra perspectiva de análise pode se dar no campo da relação custo e benefício (ou uma análise de menor custo/dia de projeto). A melhor relação seria com o tempo de projeto de 104,8 dias a um custo estimado de R\$230.400,00.

Outras perspectivas de análise podem ser realizadas, como, por exemplo, o menor custo em retrabalho, o menor tempo em retrabalho, entre outros. A seguir apresentam-se os melhores resultados sob algumas perspectivas de análise (Figura 44):

Função Objetivo	Custo do Projeto	Custo Total com Trabalho	Custo Total com Retrabalho	Tempo do Projeto	Tempo em Retrabalho	Custo R\$/dia	No de Configurações
Sem Sobreposição de Tarefas	R\$ 230.400,0	R\$ 230.400,0	R\$ 0,0	111,5	0	R\$ 2.066,0	1
Menor Tempo	R\$ 246.072,98 a R\$ 259.212,72	R\$ 230.400,0	R\$ 15.672,98 a R\$ 28.812,72	87,87	7,52 a 28,8	R\$ 2.807 a R\$ 2.957	13122
Sobreposição Mínima (Mij's=1,0)	R\$ 230.400,0	R\$ 230.400,0	R\$ 0,0	97,87	0	R\$ 2.820,0	1
Menor Tempo e Menor Custo	R\$ 246.073,0	R\$ 230.400,0	R\$ 15.673,0	87,87	7,52	R\$ 2.807,0	243
Melhor Relação Custo x Benefício	R\$ 230.400,0	R\$ 230.400,0	R\$ 0,0	104,8	0	R\$ 2.198,0	243

Figura 44: Funções objetivo e resultados obtidos - Projeto Estudo de Caso

Já em relação à aplicação, ela foi realizada em caráter experimental ou com características de projeto piloto. Algumas ponderações podem ser feitas no que tange à aplicação da ferramenta e do modelo:

- A ferramenta DSM auxilia a visualização das interfaces. Por meio do DSM, a etapa do projeto pôde ser facilmente mapeada e seqüenciada, e todo o fluxo de informações entre tarefas ficou evidente.

- Informações de Repasse de Informações baseado em conhecimento tácito. Grande parte dos resultados provenientes da utilização da DSM e do modelo elaborado foram baseados em dados qualitativos obtidos a partir de entrevistas com os especialistas no projeto, de relato de profissionais da empresa pesquisada, de documentações existentes e avaliações qualitativas realizadas ao longo da pesquisa.

- Grade de Oportunidade de Planejamento da Etapa do Projeto. A saída do modelo é uma gama de oportunidades de planejamento de projetos, considerando-se os diversos momentos de troca de informação entre elas. Tal grade auxilia o gestor na tomada de decisão, ao escolher a melhor combinação de custo x tempo de projeto. Como a etapa em avaliação estava em estado de planejamento no momento da elaboração desta dissertação, não houve avaliação ou coleta de dados quantitativos que comprovem a eficácia do

modelo elaborado no que tange à estimação dos custos e do tempo da etapa do projeto.

- Não se pode afirmar que existiram ganhos tangíveis no que se refere a aumento de interação da equipe, na melhoria da qualidade do projeto, na performance do projeto, etc. Tais benefícios são constantemente apresentados na literatura e são associado ao uso da ferramenta DSM, mas a aplicação da ferramenta DSM e do modelo elaborado se deu em fase de planejamento de projeto não havendo tempo suficiente para a verificação de longo prazo dos resultados do projeto (pós planejamento e execução)

- Por fim, em função da restrição da empresa em fornecer as informações completas para o trabalho, de forma a se realizar uma análise objetiva da aplicação da ferramenta e do modelo elaborado, estas foram utilizadas em uma etapa do projeto de instalação do empreendimento. Assim a aplicação das da ferramenta e do modelo em todo o projeto provavelmente aumentaria o grau de complexidade do manuseio da ferramenta e exigiria maiores recursos para otimização do modelo elaborado em busca de um resultado satisfatório.



CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

5.1 Introdução

Esta dissertação apresentou um modelo para o planejamento de projetos que contempla as variáveis da dinâmica do trabalho e aproxima o planejamento à realidade do contexto de projetos, como os riscos de erro nas trocas de informação e a comunicação entre as tarefas, bem como as premissas da engenharia simultânea e a identificação dos melhores momentos de interação entre tarefas de forma a garantir um melhor planejamento e execução dos projetos. Tal modelo auxilia no objetivo da dissertação de avaliar o impacto da transferência precoce de informação (devido à sobreposição de tarefas) no tempo e no custo de desenvolvimento de projetos.

Foi utilizado como ferramenta de apoio ao planejamento de projetos a *Design Structure Matrix*, observando-se o seu potencial de mapeamento dos inter-relacionamentos entre tarefas e o seqüenciamento das mesmas através de um entendimento do fluxo de informação no projeto. Seus conceitos e a sua operacionalização foram apresentados.

Por fim, aplicou-se a ferramenta DSM e o modelo em um caso real de forma a explicitar os fatores que caracterizam a utilização das mesmas, as limitações e os benefícios observados e as características do processo de aplicação identificadas durante o trabalho.

A seguir serão apresentadas as principais conclusões do trabalho.

5.2 Contribuições para o gerenciamento de projetos

A utilização da ferramenta DSM no contexto do gerenciamento de projetos, especificamente na etapa de planejamento e seqüenciamento das tarefas, mostrou-se adequada e eficiente para a identificação, planejamento e gerenciamento das interfaces do sistema, assim como para a identificação de seus pontos críticos. Tais pontos são caracterizados por tarefas com diversas interfaces que necessitam de atenção, pois um erro nessa interface impacta de forma mais abrangente o projeto. Acrescenta-se, também, que tal ferramenta auxiliou o mapeamento do fluxo da informação, contribuindo de tal forma para o estabelecimento de um seqüenciamento de projetos que considere a troca da informação em detrimento de um mapeamento que considere apenas a simples relação de precedência entre tarefas. Evidencia-se, sua vantagem frente à utilização de técnicas gráficas devido à dificuldade de visualização das relações entre tarefas. A pergunta respondida passa a ser “Quais informações são necessárias para que a esta atividade seja executada?” em vez de “Quais tarefas são necessárias terem sido finalizadas para que esta tarefa seja executada?”.

O mapeamento dos parâmetros de projeto, como as relações de dependência entre tarefas, os tempos de comunicação e os momentos de repasse e recebimento de informação são de difícil realização (especialmente em projetos novos) e requerem o conhecimento especialista para a estimação de tais atributos. Dado que tais informações muitas vezes não estão disponíveis em registros formais ou históricos de projetos de mesma natureza, uma estimação é necessária. Para tanto, a DSM torna-se uma ferramenta de formalização de tais informações e um registro para utilização em futuros empreendimentos com mesmas características. Além disso, diversos pesquisadores tem buscado um tratamento formal de probabilidades subjetivas e ambigüidade (ver, por exemplo, Deckel e Lipman, 2009; Fudenberg, 2006; Pesendorfer, 2006; Gilboa, 2009)

A necessidade de redução dos tempos de desenvolvimento de projetos por meio das técnicas de engenharia simultânea implica em um aumento nos

riscos de erro no repasse de informação (informação repassada antecipadamente é diferente da informação final). Tais riscos devem ser considerados em um planejamento de projetos de forma a estimar com maior precisão o tempo de projeto. O modelo elaborado auxilia a identificação do tempo final do projeto, considerando-se os riscos de retrabalho e o impacto no tempo e no custo final do projeto. Assim, o modelo apresentado estende e melhora o modelo proposto por Maheswari (2006).

O planejamento de um projeto que considere as premissas de sobreposição de tarefas e momentos de repasse de informação apresenta uma grade de oportunidades de planejamento de projetos. Tal grade deve ser analisada à luz da relação entre custo e benefício esperado para a definição da melhor opção para a empresa.

Ficou evidenciado, por meio do exemplo numérico (Capítulo 3) e por meio do estudo de caso (Capítulo 4), que existe uma tendência da relação ser inversamente proporcional entre o tempo e o custo de projeto. A análise de custo baseou-se nos custos relativos ao trabalho e ao retrabalho necessário ao se sobrepor tarefas. Evidenciou-se também que dentro de um mesmo tempo de projeto existe uma grade de oportunidades com diferentes custos de projeto. Outro ponto interessante é a busca pelo menor tempo, muitas vezes não está associada ao maior custo, conforme discutido no item 3.5, mas sim à melhor definição dos pontos de interação entre as tarefas.

5.3 Implicações práticas

O uso do DSM para o seqüenciamento de projetos se apresenta como importante ferramenta para o gerenciamento de projetos, especificamente para o planejamento das atividades e entendimento dos relacionamentos entre elas. Procurou-se aqui demonstrar a utilização conjunta de ferramentas como o DSM e o Gráfico de Gantt, bem como os conceitos de seqüenciamento, sobreposição de tarefas e incerteza da informação, de forma a munir o gestor de projetos de dados para melhor entender o espaço de oportunidades de planejamento do projeto para sua tomada de decisão.

Ao buscar a diminuição do tempo de desenvolvimento de projetos por meio dos conceitos de engenharia simultânea, existe o risco de erro no repasse de informação de forma precipitada, o que poderia causar retrabalhos não planejados e tempos de desenvolvimento maiores que o inicialmente identificado.

O modelo apresentado refina a perspectiva do planejamento de projetos e seqüenciamento de atividades ao identificar quais seriam os melhores momentos para a interação entre as tarefas de forma a obter um menor tempo total de projeto, considerando as conseqüências da incerteza existente no processo de se repassar a informação de forma precipitada e o tempo despendido com a comunicação da informação. Ao inserir os parâmetros de custo de trabalho e custo de retrabalho, a perspectiva comparativa entre custo de projeto e tempo de projeto torna-se evidente, aproximando a análise da realidade de projetos.

O modelo proposto pode ser utilizado para o planejamento de diversos tipos de projeto, apresentando-se como maior dificuldade a identificação dos momentos potenciais para troca de informação entre as tarefas que interagem no projeto e a modelagem da incerteza. Técnicas como a utilização de opinião do especialista e histórico de dados podem ser utilizadas para esse mapeamento.

Assim, a ferramenta DSM e o modelo proposto auxiliam gestores de projetos a entender melhor as interfaces existentes no projeto e a grade de oportunidade de planejamento e momentos de interação das tarefas. A perspectiva da sobreposição de tarefas, os tempos de comunicação e o mapeamento do impacto do erro no repasse precipitado da informação auxiliam a predizer de forma mais acurada qual o custo e o tempo de projeto.

De forma geral, a utilização da ferramenta DSM e do modelo elaborado no estudo de caso auxiliou os gestores de projeto e a equipe envolvida a ter um maior domínio das características que envolvem a etapa do projeto em análise. A confecção das tabelas revelou a ausência de algumas informações sobre os

parâmetros do projeto, o que levou a uma interação entre a equipe e a busca pelas documentações de outros projetos similares e à discussão de tais dados entre os especialistas entrevistados.

Considera-se também o ponto relativo à garantia da aplicação dos conceitos relativos à engenharia simultânea de forma efetiva. A literatura e a prática têm evidenciado que tal técnica garante resultados melhores do que técnicas de planejamento puramente seqüencial. Porém, sobrepor tarefas sem a análise do impacto potencial, que pode ser causado no tempo final, pode inverter os resultados esperados com tal método. Assim, observa-se que o menor tempo de projeto não implica uma sobreposição máxima de todas as tarefas, dado que poderia existir aumento do tempo devido ao risco de retrabalhos, bem como aumento dos custos do projeto. Portanto, uma análise do impacto do repasse precipitado de informações no tempo e no custo do projeto pode evidenciar oportunidades de planejamento de projeto que respondam ao mercado de uma maneira melhor, obtendo-se uma vantagem competitiva frente à concorrência.

Por fim, a aplicação da DSM e do modelo elaborado mostrou-se efetiva em garantir uma estimativa mais realística no tempo e no custo de projetos.

5.4 Sugestão para trabalhos futuros

Limita o estudo em questão e torna-se uma oportunidade de estudos futuros o fato de as tarefas modeladas trocarem informações de forma unidirecional, existindo assim somente relações seqüenciais e paralelas entre as tarefas, desconsiderando-se no modelo a relação interdependente. Considera-se também a troca de informação em apenas um momento. No entanto, pode-se observar em alguns projetos a existência de múltiplas trocas de informação entre tarefas, não ocorrendo tal interação em apenas determinado momento. Uma forma de se contornar o problema seria a divisão das tarefas em subtarefas, de forma a gerenciar a troca de informações (MAHESWARI *et al.*, 2005). Ao se calcular o tempo de retrabalhar uma informação, é desconsiderada a existência de aprendizado que poderia reduzir

paulatinamente o tempo de re-execução da referida atividade. Por fim, considerar a duração das tarefas e/ou os elementos de probabilidade de impacto e retrabalho sendo estocásticos, ou ainda, considerar o tempo ou o custo do projeto como uma restrição para a identificação de um planejamento, poderia se gerar um ambiente ainda mais próximo da realidade dos projetos. Assim, um aprimoramento do modelo é pertinente na medida em que considera as interações de interdependência, aumentos de interações entre tarefas relacionadas e redução gradativa nos tempos de retrabalho da informação, dando, assim, um caráter dinâmico ao modelo.



**REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

ALLEN, T. "Managing the Flow of Technology". Cambridge, MA: *MIT Press*, 1978.

AUSTIN, S., BALDWIN, A., HAMMOND, J. e WASKETT, P., "Application of the Analytical Planning Technique in the Project Process", *CEC 1999*. Dept of Civil and Building Engineering. Loughborough University UK.

AUSTIN, S., BALDWIN, A., LI, B. e WASKETT, P., "Application of the analytical design planning technique to construction project management", *Project Manage, J.*, vol. 31, pp. 48–59, 2000.

BATALLAS, D. A., YASSINE, A. "Information Leaders in Product Development Organizational Networks: Social Network Analysis of the Design Structure Matrix", *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 53, No. 4, November 2006.

BERTRAND, J. W. M. e FRANSOO, J. C. (2002). Operations research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(2):241–264.

BLACK, T. A., C. F. FINE, and E. M. SACHS, "A method for systems design using precedence relationships: An Application to automotive brake systems," *MIT Sloan School of Management*, Cambridge, MA, 3208, 1990.

BROWNING, T. R. "Systematic IPT integration in lean development programs," *M.S. thesis*, MIT, Cambridge, MA, 1996.

_____. "Integrative mechanisms for multiteam integration: Findings from five case studies," *Syst. Eng.*, vol. 1, pp. 95–112, 1998.

_____. "Use of Dependency Structure Matrices for Product Development Cycle Time Reduction", *Proceedings of the Fifth ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications*, Tokyo, Japan, July 15-17, 1998c, pp. 89-96

_____. “Modelling and Analyzing cost, schedule, and performance in complex system product development”, 1998. 300 f. *Tese (Doutorado)* – Massachusetts Institute of Technology, 1998.

_____. “Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions”. *IEEE Transactions on engineering management*, Vol. 48, No. 3, 2001.

BURNS, T. E STALKER, G. M., *The Management of Innovation*. London, U.K.: Tavistock, 1961.

CARDOSO, L. C. *Logística do Petróleo: Transporte e Armazenamento* – Rio de Janeiro: Interciência, 2004

CARRASCOSA, M., EPPINGER, S. D., WHITNEY, D. E. “Using the design structure matrix to estimate product development time”. *ASME Design Engineering Technical Conferences*, September 13-16, 1998. Atlanta, Georgia, USA.

CHO, S., *An Integrated method for managing complex engineering projects using the design structure matrix and advanced simulation*, 2001, 124 f. *Tese (Doutorado)* – Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2001.

CLARK, K. B. e WHEELWRIGHT, S. C., *Managing New Product and Process Development*. New York: Free Press, 1993.

DEKEL, E., LIPMAN, B., *How (not) to do decision theory*, 2009.

DENKER, S., STEWARD, D., BROWNING, T. (2001). “Planning Concurrency and Managing Iteration in Projects”. *Project Management Journal*, Vol. 32, No. 3, Setembro 2001 pp. 31–38.

DRUCKER, P. F. "The Discipline of Innovation", *Harvard Business Review*, Maio – Junho 1985, pp 67-72.

DSMWEB (2007) - URL: <<http://www.dsmweb.org/>>; Último acesso em janeiro 2010.

EISENHARDT, KATHLEEN M. Building Theories from Case Study Research. *Academy of Management. The Academy of Management Review*; Oct 1989; 14, 4; ABI/INFORM Global pg. 532

EPPINGER, S. D. "A model-based approaches to managing concurrent engineering". *Journal of Engineering Design*, Vol. 2, No 4, 1991

EPPINGER, S. D., WHITNEY, D. E., SMITH, R. P., GEBALA, D. A. "A model-based method for organizing tasks in product development". *Research in Engineering Design*, Vol.6, 1-13, 1994.

EPPINGER, S. D. "A planning method for integration of large-scale engineering systems," in *Inte. Conf. on Engineering Design ICED-97*, Tampere, Finland, 1997, pp. 199–204.

_____. "Innovation at the Speed of Information", *Harvard Business Review*, vol. 79, no. 1, pp. 149-158, January 2001.

FERNANDEZ, C.I.G. Integration Analysis of Product Architecture to Support Effective Team Co-Location. *Master's Thesis (ME)*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1998.

FRAME, J.D., *Project Management Competence: Building Key Skills for Individuals, Teams, and Organizations*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers, 1999

FUDENBERG, DREW, "Advancing Beyond Advances in Behavioral Economics," *Journal of Economic Literature*, 44, September 2006, 694–711.

GERK, J. E. V e QASSIM, R. Y. "Project Acceleration via Activity Crashing, Overlapping, and Substitution". *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 55, No. 4, November 2008.

GILBOA, I. Theory of Decision under Uncertainty, *Cambridge University Press*, 1ª ed., 2009.

HAO, Z. "Product Development Processes Management Based on Design Structure Matrix (DSM) Method". *IEEE Trans. Engineering Management*, 2008.

HIPPEL, E. VON ., "Task partitioning: An innovation process variable," *Res. Policy*, vol. 19, pp. 407–418, 1990.

HUOVILA, P. KOSKELA, L., PIETILÄINEN, L. e TANHUANPÄÄ, V. P. "Use of the design structure matrix in construction," *in 3rd Int. Workshop on Lean Construction*, Albuquerque, NM, 1995.

JEONG, H., MASON, S. P. e BARABASI, A. L. "Lethality and centrality in protein networks," *Nature*, vol. 411, pp. 41–42, May 2001.

KRISHNAN, V., EPPINGER, S. e WHITNEY, D. "A Model-Based Framework to Overlap Product Development Activities." *Management Science*, Vol. 43, No.4, April 1997.

LOCKYER, K. G. 1969. An Introduction to Critical Path Analysis. *Pitman and Sons*, London, U.K.

LOVE, P. E. D, EDWARDS D. J., IRANI, Z. e WALKER, D. H. T. "Project Pathogens: The Anatomy of Omission Errors in Construction and Resource Engineering Project". *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vvol. 56, No. 3, August 2009.

MALMSTRÖM, J., PIKOSZ, P e MALMQVIST, J. “The complementary roles of IDEF0 and DSM for the modeling of information management processes,” *Concurrent Eng.: Res. Applicat.*, vol. 7, pp. 95–103, 1999.

MANZIONE, L. “Estudo de Métodos de Planejamento do Processo de Projeto de Edifícios”, 2006. *Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*, 2006. 250p.

MAHESWARI, J. U., VARGHESE, K. “Project Scheduling using Dependency Structure Matrix”, *International Journal of Project Management*, No23, 2005, p.223–230.

MAHESWARI, J. U., VARGHESE, K., SRIDHARAN, T. “Application of Dependency Structure Matrix for Activity Sequencing in Concurrent Engineering Projects”, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 132, No. 5, May 1, 2006. ©ASCE, ISSN 0733-9364/2006/5-482–490

MCCORD, K. R. e EPPINGER, S. D., “Managing the integration problem in concurrent engineering,” *MIT Sloan School of Management, Cambridge, MA, Working Paper*, No. 3594, 1993.

MAXIMIANO, ANTÔNIO CÉSAR AMARU. *Administração de Projetos: Como transformar idéias em resultados*. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MORELLI, M. D., EPPINGER, S. D. e GULATI, R. K. “Predicting technical communication in product development organizations,” *IEEE Trans. Eng. Manage.*, vol. 42, pp. 215–222, 1995.

NEWMAN, M. E. J. “Scientific collaborations networks. I. Network construction and fundamental results,” *Phys. Rev., E*, vol. 64, pp. 016131-1–016131-8, 2001.

NIGHTINGALE, P. “The product-process-organization relationship in complex development projects”, *Res. Policy*, vol. 29, pp. 913–930, 2000.

OLOUFA, A. et al. Using DSM for modeling information flow in construction design projects. *Civil Engineering and Environmental Systems*, Amsterdam, v.21, n.2, p. 105-125, 2004.

OSBORNE, S. M. "Product development cycle time characterization through modeling of process iteration," *M.S. thesis, MIT*, Cambridge, MA, 1993.

PESENDORFER, W., "Behavioral economics comes of age", *Journal of Economic Literature*, 44, 2006, 712-21.

PIMMLER, T. U. e EPPINGER, S. D., "Integration Analysis of Product Decompositions," in *Proc. ASME 6th Int. Conf. on Design Theory and Methodology*, Minneapolis, MN, 1994.

PICH, M., T. LOCH, C.,H. e MEYER, A. "Information On Uncertainty, Ambiguity, and Complexity in Project Management", *Management Science*, Vol. 48, No. 8, Agosto 2002, pp. 1008–1023.

PRADO, DARCI. Gerenciamento de Programas e Projetos nas Organizações. Nova Lima : INDG Tec, 3ª ed., 2004.

PROJECT MANAGMENT INSTITUTE. *Estudo de Benchmarking em Gerenciamento de Projetos Brasil 2007*. Project Management Institute – Chapters Brasileiros, 2007. Disponível em: <http://www.pmi.org.br> - Acesso em 25 abr. 2007.

_____. Um guia do conjunto de conhecimentos do Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK – edição 2004). 3. ed. Philadelphia: Autor, 2004.

ROGERS, J. L. e BLOEBAUM, C. L. "Reducing time and cost in the design process," in *Proc. AIAA Professional Development Short Course*, Bellevue, WA, 1996.

SIMON, HERBERT. "A Behavioral Model of Rational Choice", in *Models of Man, Social and Rational: Mathematical Essays on Rational Human Behavior in a Social Setting*. New York: Wiley, 1957.

SINGH, K. J., ERKES, J. W., CZECHOWSKI, LEWIS, J. W. and ISSAC, M. G. "DICE approach for reducing product development cycle," in *Proc. Worldwide Passenger Car Conf. and Expo*, Dearborn, MI, 1992, pp.141–150.

SHARMAN, D. e YASSINE, A., "Characterizing Complex Product Architectures", *Systems Engineering*, Forthcoming, 2004.

SMITH, R. P. e EPPINGER, S. D. "A predictive model of sequential iteration in engineering design". *Management. Science.*, Vol. 43, pp. 1104–1120, 1997a.

_____. "Identifying Controlling Features of Engineering Design Iteration, *Management Science*, vol. 43, no. 3, pp. 276-293, March 1997b.

_____. "Deciding between sequential and concurrent tasks in engineering design," *Concurrent Eng.: Res. Applicat.*, VOL. 6, No1, P. 15–25, 1998.

SOBIESZCZANSKI-SOBIESKI, J. "Multidisciplinary optimization for engineering systems: Achievements and potential," *NASA Langley Research Center, Hampton, VA, TM-101 566*, 1989.

SOSA, M. E., EPPINGER, S. D., PICH, M. , MCKENDRICK, D. G. e STOUT, S. K. "Factors that influence technical communication in distributed product development: An empirical study in the telecommunications industry," *IEEE Trans. Eng. Manage.*, vol. 49, no. 1, pp. 45–58, Feb. 2002.

STEWARD, D. V. "The Design structure system: A method for managing the design of complex systems," *IEEE Trans. Eng. Manage.*, vol. 28, pp. 71–74, 1981.

_____. Planning and managing the design of systems. In PORTLAND INTERNATIONAL CONFERENCE OF MANAGEMENT OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, 1991. Proceedings_1991.

TACCONI, D. A. and LEWIS, F. L. "A new matrix model for discrete event systems: application to simulation," *IEEE Control Syst. Mag.*, vol. 17, pp. 62–71, 1997.

THIOLLENT, M. Concepção e Organização da Pesquisa, In: Metodologia da Pesquisa-Ação. São Paulo: Cortez e Autores Associados, 1985. Cap.2.

_____. Pesquisa-Ação nas Organizações, Editora Atlas. 1997, p.164.

THOMAS R. J. and WORREN, N. "Applying the dependency structure matrix to high-level organizational architectures," in *2nd MIT Design Structure Matrix Workshop*, Cambridge, MA, 2000.

ULRICH, K. T. e EPPINGER, S. D., Product Design and Development, Second ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

VOSS, C., TSIKRIKTSIS, N., AND FROHLICH, M. Case research in operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, 2002, p.195–219.

YASSINE, A. BRAHA, D. "Complex Concurrent Engineering and the Design Structure Matrix Method". *Concurrent Engineering*, Vol. 11, No. 3, sept – 2003a.

_____. "Information hiding in product development: the design churn effect". *Research in Engineering Design* 14, 145–161, 2003b.

YIN, R. K. Case study research: design and methods. 2. ed. Thousands: Sage Publications, 1994.

YU, T., YASSINE, A., AND GOLDBERG, D., "A Genetic Algorithm for Developing Modular Product Architectures," *Proceedings of the ASME 2003 International Design Engineering Technical Conferences, 15th International Conference on Design Theory & Methodology*, September 2-6, 2003. Chicago, Illinois.

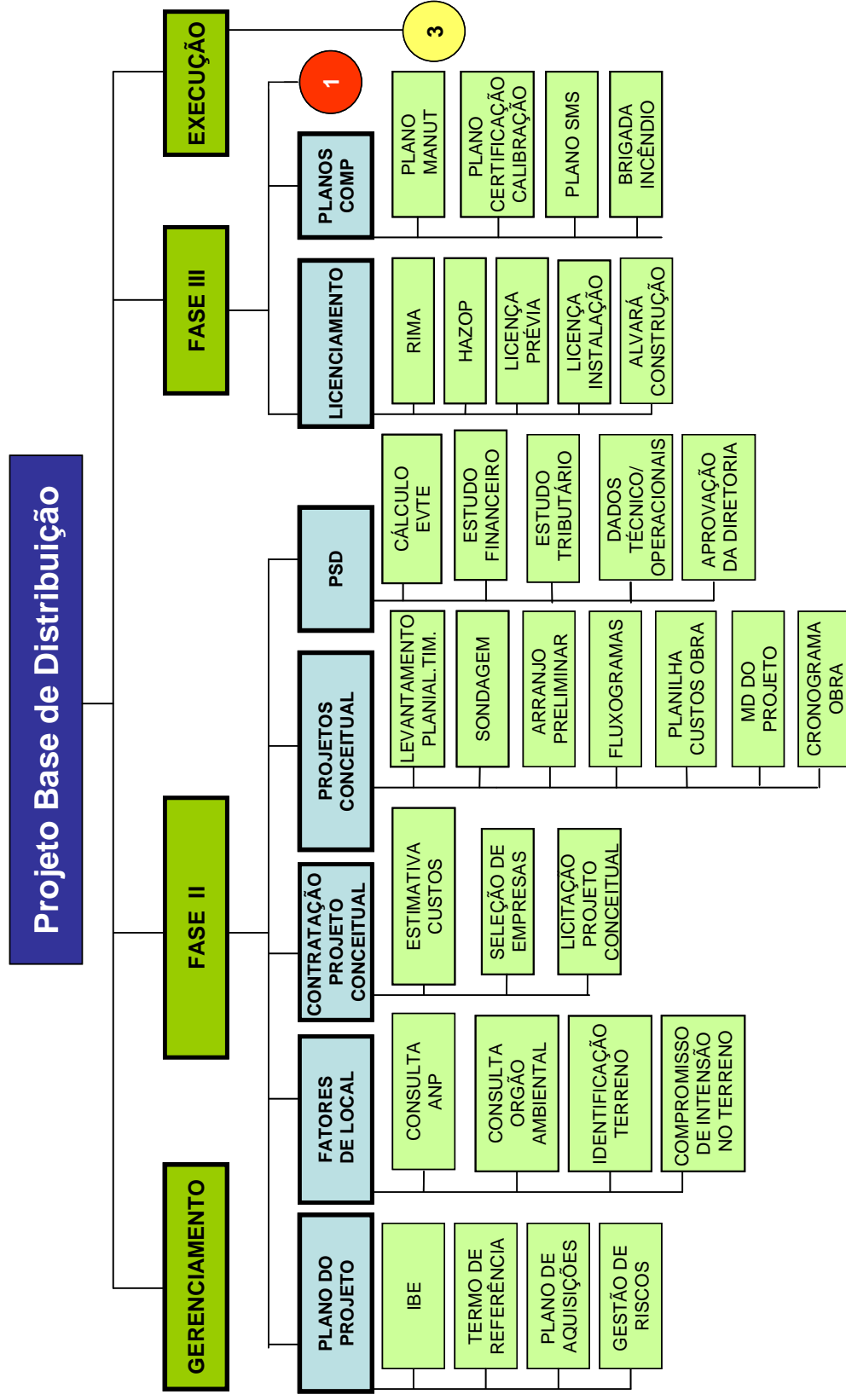
WASSERMAN, S., and K. FAUST, *Social Network Analysis*, Cambridge University Press, 1994.

WHITNEY, D. E., "Designing the design process," *Res. Eng. Des.*, vol. 2, pp. 3–13, 1990.

ANEXO A

**EAP – Estrutura Analítica do Projeto foco do
Estudo de Caso**

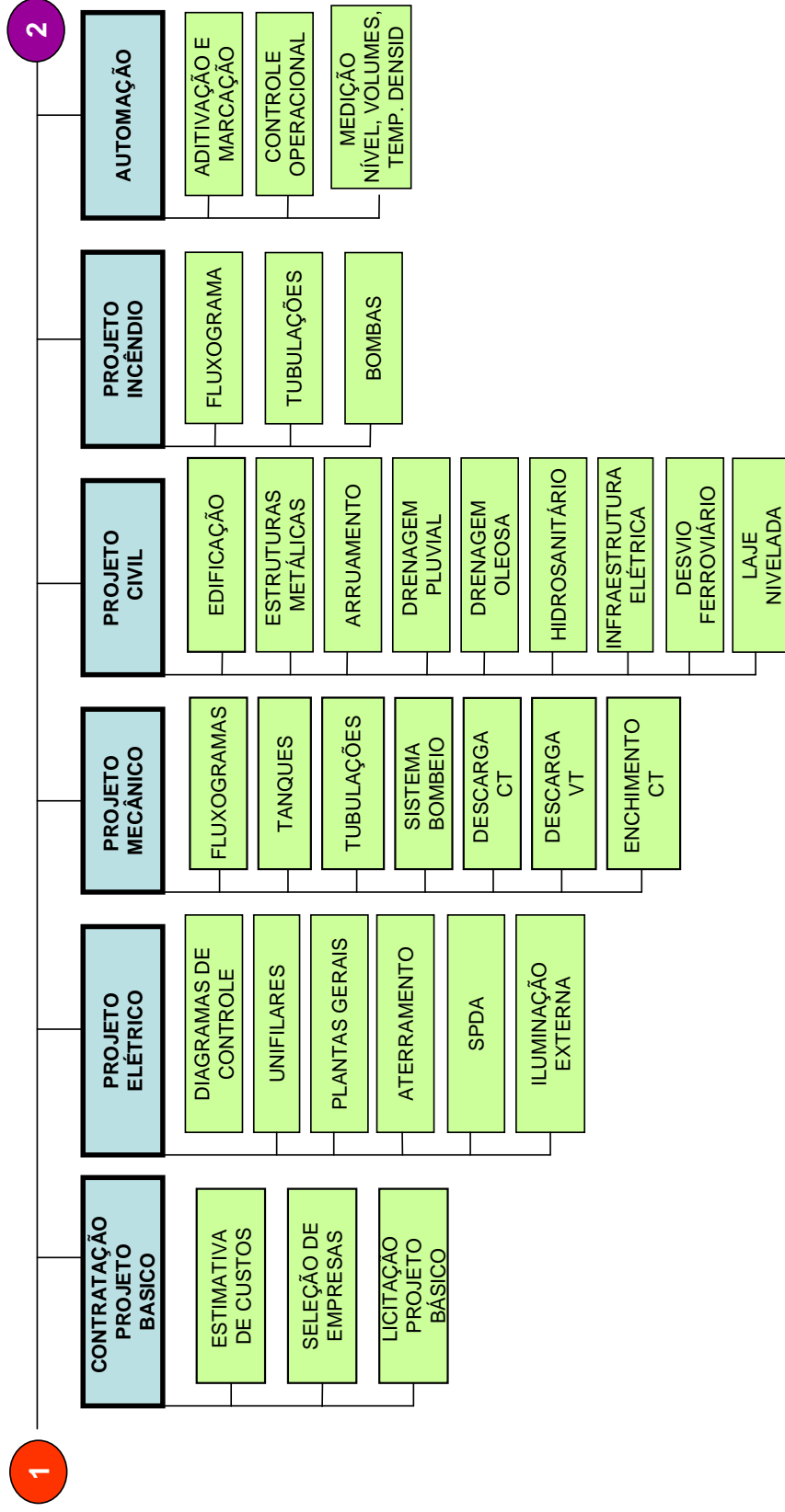
EAP - ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO



EAP - ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO

Projeto Base de Distribuição

Fase III continua



EAP - ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO

Projeto Base de Distribuição

Fase III- FIM

2

