

Sanderson Vanucci Carvalho

Abordagem Evolutiva Multiobjetivo para o
Sequenciamento de Tarefas com Precedência: um
Estudo de Caso Multidisciplinar em Mineração.

Belo Horizonte

2012

Sanderson Vanucci Carvalho

Abordagem Evolutiva Multiobjetivo para o
Sequenciamento de Tarefas com Precedência: um
Estudo de Caso Multidisciplinar em Mineração.

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Minas
Gerais, para a obtenção de Título
de Mestre em Engenharia
Elétrica, na Área de Otimização
de Engenharia.

Orientador: Ricardo H. C. Takahashi

Belo Horizonte

2012

Resumo

Esta dissertação aborda o problema de alocação de tarefas a agentes, no contexto do gerenciamento de projetos. Um algoritmo é construído para que cada tarefa seja atribuída a um agente escolhido de um conjunto pré-definido, de modo a ser executada em um momento específico, obedecendo a uma relação de precedência entre tarefas. São consideradas duas funções-objetivo: o custo do projeto e o prazo de execução. O algoritmo de otimização multiobjetivo NSGA-II é empregado na resolução do problema de otimização multiobjetivo resultante. O algoritmo proposto foi utilizado no estudo de um caso prático, do processo de planejamento e gerenciamento de um estudo de viabilidade aplicado na engenharia de mineração. São comparados os resultados em torno das atividades da disciplina mecânica, na distribuição dos custos, tempo, intertravamentos e capacitação de realizar as tarefas pelos seus agentes. É também brevemente discutido o impacto da metodologia proposta no gerenciamento de projetos.

Abstract

This dissertation deals with the problem of task assignment to agents, in the context of project management. An algorithm is developed, such that each task is assigned to an agent who is chosen from a pre-defined set, being executed in a specific moment, complying with precedence relations between tasks. Two objective functions are considered: the project cost and the execution deadline. The multiobjective optimization algorithm NSGA-II is employed for solving the resulting multiobjective optimization problem. The proposed algorithm was employed in the study of a practical case, related to the process of planning and management of a feasibility study in mining engineering. Results on the mechanics discipline are compared, concerning the cost and time distribution, task interlocking and capacity of the agents to perform the tasks. The impact of the proposed methodology in project management is briefly discussed.

Dedicatória

*Ao Deus em sua total essência.
Aos meus filhos, minha mulher,
e aos amigos pelo total apoio e
estímulo.*

Epígrafe

“A felicidade são pequenas porções de bens...”

*Carlos G. Pecote.
(Bases para tua conduta)*

Índice Tabelas

Tabela 1 – Referencia percentual das atribuições nos pesos de cada disciplina em relação às fases de projeto – Referência Mineração.....	18
Tabela 2 – Disciplinas do processo de um estudo de viabilidade.....	21
Tabela 3 - Exemplo de tabela de dados gerenciamento projeto - Mecânica.....	41
Tabela 4 – Criação da estrutura inicial.....	42
Tabela 5 – Exemplo de distribuição dos agentes aleatoriamente no primeiro período.	42
Tabela 6 - tabela parcial da geração e distribuição de agentes obedecendo às premissas acima executada pela rotina Schedule.	44
Tabela 7 – Mutação entre agente 02 e 03 das tarefas 09 e 13.....	46
Tabela 8 – Transferência de uma tarefa sem dependência do primeiro período para o Segundo dia.....	47
Tabela 9 – Tabela de representativa da função CrossOver.....	48
Tabela 10 – previsão de homem hora por disciplina.	52
Tabela 11– Tarefas com os custos, recursos e dependências da Mecânica.	53
Tabela 12 – Dados iniciais de entradas.....	56
Tabela 13-- Alocação de recursos para População em análise solução 1.....	59
Tabela 14 - Alocação de recursos para População em análise solução 2.....	60
Tabela 15 - Alocação de recursos para População em análise solução 3.....	60
Tabela 16 - Alocação de recursos para População em análise solução 4.....	60
Tabela 17 – Distribuição das tarefas ao longo do tempo para a solução 2.....	62
Tabela 18 – Representação do sequencial adotado para os intertravamentos entre tarefas.....	63

Índice Figuras

Figura 1- Representação dos portões e atividades entre FEL's. (Vale PR-E-200, 2011)	16
Figura 2- Influência do grau de definição do FEL no custo e prazo dos empreendimentos, em relação à média da indústria referencia índice (1.0). (IPA, 2007)	17
Figura 3 – Organograma Básico – (SLC – Lavalin, 2011)	19
Figura 4 - Mapeamento do espaço de parâmetros X no espaço de objetivos Y feito pela função $f(.)$ para um problema sem restrição.	26
Figura 5 - A região factível no espaço de parâmetros é designada por Fx e seu conjunto imagem restrita à região factível designado por Fy	27
Figura 6 - Entre yA , yB e yE não há relação de dominância; yA domina yC e yF ; yB domina yC , yD e yF ; entre yC , yD e yE não há relação de dominância; yC e yD dominam yF ; yE e yF não dominam nenhum outro ponto.....	27
Figura 7 - Representação em linha continua do conjunto pareto-ótimo $Y^* \in Y$	28
Figura 8 - Representação sequencial de uma estrutura genérica GA simples.	32
Figura 9 – pseudocódigo – NSGA II.....	35
Figura 10 - Cálculo da “crowding distance” do NSGA II.	37
Figura 11 – Pseudocódigo do algoritmo Crowding Distance.	37
Figura 12 - Fluxograma do programa de gerenciamento de projeto	39
Figura 13 - Relação entre custo x tempo disciplina Mecânica	55
Figura 14 – Escolha de 4 coordenadas para análise de suas soluções.	56
Figura 15 – Estrutura solução 1.	57
Figura 16 – Estrutura solução 2.	57
Figura 17 – Estrutura solução 3.	58
Figura 18 – Estrutura solução 4	58
Figura 19 – Programação da solução 1 no Project.....	64
Figura 20 - Programação da solução 2 no Project.	64
Figura 21 - Ciclo de vida de projetos (PMI, 2008)	73
Figura 22 - Ciclo de vida de projetos (PMI, 2008)	74
Figura 23 - Nível de interação entre processos. (FGV, 2012).....	79

Índice

1- INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Objetivos	11
1.2 Relevância	11
1.3 Descrição do Problema.....	12
2 - PROJETO DE ENGENHARIA.....	14
2.1 Metodologia Front End Loading (FEL).....	14
2.1.1 - FEL 1 (Planejamento do Negócio – Estudo de viabilidade).....	15
2.1.2 - FEL 2 (Planejamento das Instalações – Projeto Conceitual).....	15
2.1.3 - FEL 3 (Planejamento do Projeto – Projeto Básico)	15
2.2 – Benefícios da metodologia FEL.....	16
2.3 – Disciplinas de engenharia e FEL´s	17
2.4 – Organizações das Equipes de Gerência de Projetos	18
2.5 – Estudo de Viabilidade (FEL 1) – Estudo de um caso.....	20
2.6 - Conclusões do Capítulo	24
3 – OTIMIZAÇÃO MULTIOBJETIVO E FUNÇÕES-OBJETIVO DO PROBLEMA.....	25
3.1 - Otimização Multiobjetivo	25
3.1.2 - Conceitos Básicos	25
3.1.3 - Conjunto Pareto-Ótimo:	26
3.2 – Funções-Objetivo	28
4 – ALGORITMOS GENÉTICOS	31
4.1 – O Algoritmo NSGA II	33
4.2- Componentes do NSGA-II	34
4.2.1 - Inicialização	34
4.2.2 - Cruzamento	34
4.2.3 - Mutação.....	34
4.2.4 - Cálculo da aptidão (fitness).....	35
4.2.5 - Seleção.....	37

4.2.6 - Elitismo	38
5 – IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL	39
5.1 – Run Program -	40
5.2 – Read File.....	40
5.3 – Initial Population.....	41
5.4 – Evaluate Population	42
5.5 - Schedule.....	43
5.6 – Duration Routine	46
5.7 – Mutate -	46
5.8 – CrossOver -	48
5.9 – Rank Population.....	49
5.10- CrowdDistance.....	50
6 - RESULTADOS.	51
6.1 – Dados de Engenharia.....	52
6.2 - Informações da Disciplina.	52
6.3 - Análises do resultados.....	55
6.4 - Alocações de recursos.....	59
6.5 - Sobrecargas e intertravamentos	61
6.6 - Duração	63
7 - CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
A – GESTÃO DE PROJETO	68
A.1 – Sistemas de gestão de projeto no contexto do trabalho.....	68
A.2 – Gerenciamentos de Projetos.....	69
A.3 – Benefícios Esperados	70
A.4 - Escritório do Gerenciamento de projeto (PMO)	70
A.5 – Stakeholders do Projeto.....	71
A.6 – Ciclos de Vida.....	71
A.7 – Sucessos e Fracasso na Gerência de Projetos.....	75
A.8 – Estruturas Organizacionais	76
A.9 – Gerências Organizacionais por Projetos	76
A.10 – Grupos de Processos	77
A.10.1 - Processos de inicialização:.....	77

A.10.2 - Processo de Planejamento:	77
A.10.3 - Processo de Execução:	78
A.10.4 - Monitoramento e Controle:	78
A.10.5- Processo de Encerramento:	78
A.11 – Processos de Gerenciamento de Projetos	79
A.11.1 – Áreas de Conhecimento em Gerência de Projetos	80
A.11.1.1 - Gerenciamento da integração	80
A.11.1.2 - Gerenciamento do escopo	81
A.11.1.3 - Gerenciamento do tempo	81
A.11.1.4 - Gerenciamento dos Custos	82
A.11.1.5 - Gerenciamento da Qualidade	82
A.11.1.6 - Gerenciamento das Comunicações	82
A.11.1.7 - Gerenciamento dos Recursos Humanos	83
A.11.1.8 - Gerenciamento dos Riscos	83
A.11.1.9 - Gerenciamento das Aquisições	84
A.12 - Lições Aprendidas	84

1- INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para auxílio à tomada de decisão em problemas de alocação de tarefas a agentes, no contexto do planejamento de projetos. As principais restrições do problema são que deva obedecer a uma relação de precedência entre as tarefas a serem executadas e que seja respeitada a capacidade dos agentes.

Estes estudos deverão propor diversas soluções e que a melhor escolha ou escolhas sejam apropriadas em função de diferentes situações que poderão ocorrer na fase da engenharia que se encontram seus recursos disponíveis, tempo para desenvolvimento e principalmente os custos a serem consumidos.

São utilizados, no estudo de caso aqui conduzido, as tarefas e recursos correspondentes a um projeto de engenharia de um estudo de viabilidade real. Os resultados deste estudo são analisados e comparados no que diz respeito à sua eficácia e aplicabilidade.

1.2 Relevância

Um estudo de viabilidade de projeto trata principalmente da alocação da força de trabalho dos engenheiros e técnicos (agentes), que possuem diferentes formações técnicas, experiências e lições aprendidas adquiridas (capacitação individual). Esse estudo de viabilidade possui um escopo definido por um plano de trabalho e é organizado detalhadamente em atividades (tarefas) a serem cumpridas ao longo de um cronograma (tempo). Todas essas componentes definem parâmetros relevantes para a modelagem do problema de auxílio à tomada de decisão a ser abordado aqui (FGV, 2012). Os objetivos da tomada de decisão serão o de estruturar a atribuição de tarefas na equipe de forma a minimizar o custo do desenvolvimento do projeto, e ao mesmo tempo minimizar o tempo necessário para sua execução.

O problema aqui abordado pode ser caracterizado como um problema combinatório, de sequenciamento, com paralelismo de execução de tarefas por agentes heterogêneos, envolvendo ainda restrições de precedência. Trata-se de um problema relativamente complexo, cuja modelagem para resolução por meio de algoritmos exatos, tais como os de Programação Linear Inteira, não é trivial. Por este motivo, é empregada aqui uma abordagem utilizando algoritmos evolutivos multiobjetivo, ou mais especificamente uma versão do algoritmo genético NSGA-II (Deb et al, 2002).

1.3 Descrição do Problema

A situação de projeto a ser tratada neste trabalho diz respeito à tarefa de projeto de uma planta produtiva, que é encomendada por uma empresa cliente a uma empresa de engenharia. A empresa de engenharia faz, inicialmente, um estudo de viabilidade do projeto, indicando um cronograma de execução, e estabelecendo um custo para a entrega do projeto, calculado com base em homens-hora de trabalho.

O processo de confecção desse estudo de viabilidade envolve a entrega pelo cliente para a empresa de engenharia das informações sobre a planta a projetada, que as consolida nesse estudo. Para a confecção do estudo, é importante entender a sequência em que interagem as disciplinas, a necessidade do gerenciamento das atividades ao longo do tempo, os recursos demandados e o fluxo das informações.

Na visão somente do tratamento interno, considerando-se uma empresa de engenharia multidisciplinar, as informações são distribuídas ao coordenador de projeto que se encarrega de repassá-las às disciplinas tais como, mecânica, estrutura metálica, infraestrutura, concreto, elétrica, tubulação e instrumentação, e de gerenciar as necessidades de informações do projeto.

Assim, por exemplo, o projeto das estruturas metálicas é concebido a partir dos arranjos gerais, projetos básicos dos prédios, estruturas diversas para o projeto executivo e informações complementares fornecidos pela mecânica.

Com o recebimento destas informações, o engenheiro calculista verifica se as informações recebidas contêm todos os dados para o desenvolvimento dos serviços e verifica o projeto em relação à exequibilidade das estruturas metálicas, antes de iniciar quaisquer serviços de cálculo e detalhamento.

A equipe encarregada da estrutura metálica precisa, da equipe encarregada da mecânica, os arranjos gerais e projetos básicos, planos de fixação e plano de cargas aplicadas à estrutura de caldeirarias e equipamentos. Dependem da tubulação os arranjos dos encaminhamentos de tubulação sobre Pipe-Rack, suportes no interior de prédios com o fornecimento de respectivo plano de cargas.

Da equipe encarregada do projeto elétrico, devem vir os arranjos de encaminhamento de bandejamentos elétricos, sobre Cable Rack's ou suportes no interior dos prédios, com fornecimentos dos respectivos planos de cargas e da equipe encarregada da parte civil devem vir os desenhos de forma de bases de equipamentos e estruturas em concreto armado que receberão apoios de estrutura metálica ou que estejam apoiadas em estruturas metálicas, por exemplo, lajes sobre vigamento metálico.

Os desenhos de plano de bases, embutidos metálicos e quadros de cargas de estruturas metálicas deverão ser enviados à disciplina Civil para que seja feito o dimensionamento das fundações e estruturas que recebem apoios de estruturas metálicas. Os desenhos de projeto de estruturas metálicas, quando necessário, deverão ser enviados à disciplina Civil para verificação de interferências / interfaces entre os dois tipos de estruturas.

Como vemos, é necessário não só distribuir as tarefas aos seus agentes como observar os seus respectivos relacionamentos de dependência para um projeto otimizado. Alguns empreendimentos necessitam ser executados e entregues sob determinadas restrições das quais o gerenciamento de projeto tenta adquirir controle. As tradicionais variáveis são tempo, custo e escopo.

2 - PROJETO DE ENGENHARIA

Boas técnicas de gestão do projeto devem cumprir os papéis de economizar recursos, ao mesmo tempo reduzindo os riscos dos investimentos. Isso se faz necessário tendo em vista que os investimentos em projetos de engenharia são grandes, e seu retorno pode ser demorado. Por isso hoje se investe tanto na gestão do gerenciamento do projeto e novos conceitos são agregados a cada dia objetivando conhecer o grau de sua viabilidade, retorno do capital e suas expectativas. Neste capítulo, apresentamos uma descrição geral da problemática da gestão de projetos, procurando inserir a metodologia a ser proposta neste trabalho nesse contexto.

2.1 Metodologia Front End Loading (FEL)

O sucesso na implantação de projetos baseia hoje em quatro Indicadores-chave de liderança para a competitividade e previsibilidade de projetos de capital (Vale PR-E-200 ,2011);

- ✓ **FEL** – Front End Load;
- ✓ **VIPs** - Very Improving Practices (Práticas agregadoras de Valores);
- ✓ **Equipe de projeto;**
- ✓ **Tecnologia.**

O FEL é o fator mais determinante para o sucesso do empreendimento e seu conceito baseia-se no processo de validação por etapas, do qual ao término de cada estágio de desenvolvimento, o projeto é submetido para validação (portões), na qual são verificados os produtos desenvolvidos e sinalizado o seu prosseguimento.

A Metodologia FEL é normalmente desenvolvida em três fases, e são consideradas fases de Definição do Empreendimento, sendo elas responsáveis por todo o Planejamento do Empreendimento, definindo o que será feito, quando, por quem e quais os recursos necessários. São elas:

2.1.1 - FEL 1 (Planejamento do Negócio – Estudo de viabilidade)

Tem como objetivo a validação da oportunidade comercial e selecionar as alternativas que serão analisadas na fase seguinte. Previsões de mercado, estudos competitivos e estimativas iniciais de custo (capex) são produtos esperados dessa fase e tem um grau de imprecisão na faixa de - 25 % e + 40 %,de incerteza, sendo esta fase é caracterizada pelas informações ainda incipientes, com poucos levantamentos de campos, sondagens por exemplo.

Utiliza mão de obra com bastante senioridade para o desenvolvimento, mais conceitos e menos desenhos.

2.1.2 - FEL 2 (Planejamento das Instalações – Projeto Conceitual)

Estuda nesta fase as opções identificadas na fase do FEL 1 com realizações de vários trade-offs que devem ser registrados, o porque das escolhas de uma determinada opção e objetiva refinar as premissas e diminuir o grau de incerteza das informações com faixa de imprecisão entre – 15% e + 25%.

Nesta fase começa a definição do projeto, ou seja, a sua conceituação. Suas consolidações dos conceitos devem estar bem afinadas, pois a partir dessas orientações todo o projeto aponta para um caminho único e qualquer desvio incorrerá em perdas de tempo com reprogramações e aumento dos custos.

Tem-se nesta fase um estudo econômico e financeiro mais detalhado e um refinamento do orçamento.

2.1.3 - FEL 3 (Planejamento do Projeto – Projeto Básico)

Com o conceito definido procura-se desenvolver a engenharia básica, como a emissão de requisições, especificações, folhas de dados para compra dos principais equipamentos que demandam maior tempo para aquisições e que fornecerão as

informações para o detalhamento do projeto na próxima fase. Esta fase prevê uma variação nos custos do empreendimento que varia entre – 10% e + 10%.

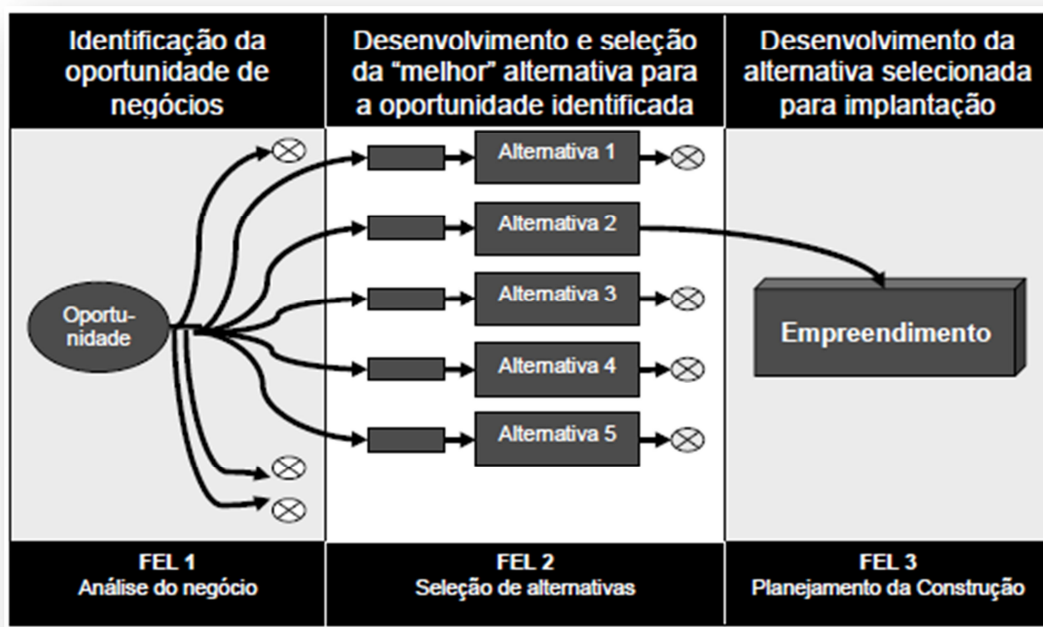


Figura 1- Representação dos portões e atividades entre FEL's. (Vale PR-E-200, 2011)

2.2 – Benefícios da metodologia FEL

Ao final do FEL 3 identifica-se uma forte correlação entre o índice de maturidade do projeto, com os resultados obtidos ao final da fase de Execução. O índice de maturidade representa a aderência do projeto aos processos previstos na Metodologia FEL e a entrega dos *deliverables* correspondentes. Os projetos que atingem melhores níveis de definição (melhor índice de maturidade) no momento da autorização também apresentam prazos e custos inferiores à média da indústria e com maior previsibilidade frente às definições apresentadas ao final do FEL 3. (PMI, 2008).

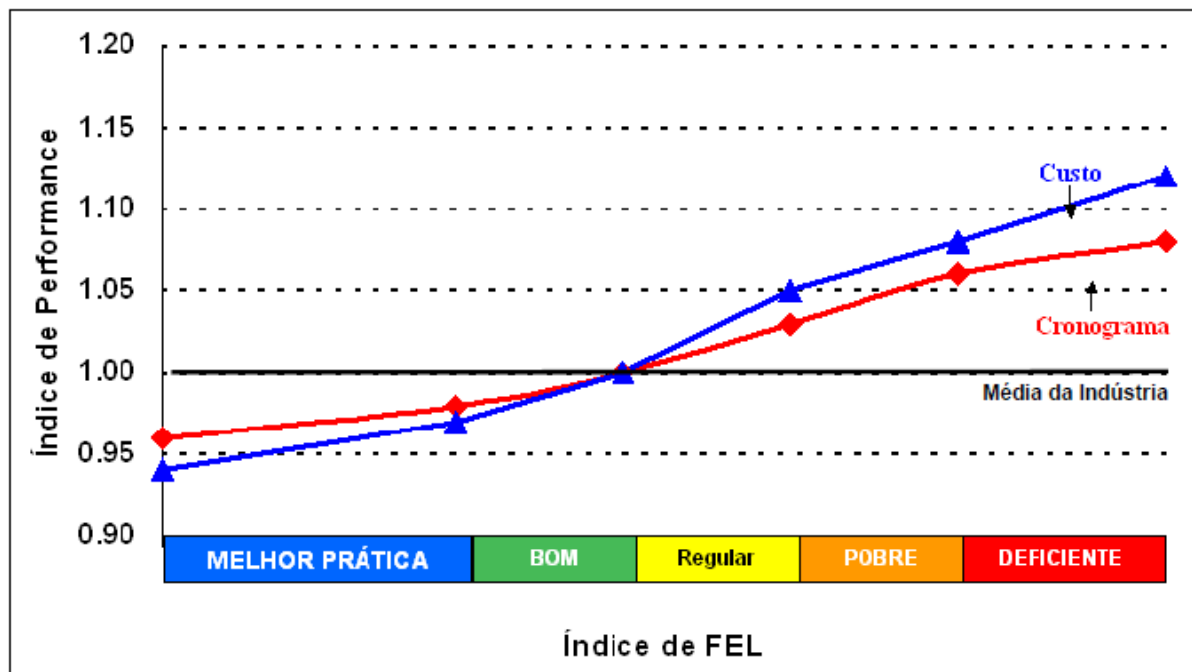


Figura 2- Influência do grau de definição do FEL no custo e prazo dos empreendimentos, em relação à média da indústria referência índice (1.0). (IPA, 2007)

2.3 – Disciplinas de engenharia e FEL's

Todo projeto é singular, entrega um produto ou serviço final diferente e único de qualquer outro projeto. Embora muitos projetos possam ser similares, diferentes adequações e customizações fazem com que cada um seja único.

Assim tomando com base referenciais foi criada no projeto de engenharia uma tabela que dimensiona a contribuição de cada disciplina nos processos de desenvolvimento das etapas descritas acima.

Tabela 1 – Referência percentual das atribuições nos pesos de cada disciplina em relação às fases de projeto – Referência Mineração.

Disciplinas	FEL 1 - ESTUDO DE VIABILIDADE	FEL 2 - CONCEITUAL	FEL 3 - BÁSICO	DETALHADO
COORDENAÇÃO E PLANEJAMENTO	14,0%	14,0%	9,0%	11,5%
ENGENHARIA ECONÔMICA	7,0%	7,0%	9,0%	1,0%
SISTEMAS	4,0%	4,0%	6,0%	0,5%
MECÂNICA	31,0%	31,0%	15,0%	10,5%
TUBULAÇÃO	4,0%	4,0%	5,0%	13,5%
INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE	2,0%	2,0%	12,0%	9,0%
ELÉTRICA	13,0%	13,0%	13,0%	11,5%
PROCESSO	11,0%	11,0%	14,0%	1,5%
ARQUITETURA	2,0%	2,0%	2,0%	3,5%
CONCRETO	2,0%	2,0%	5,0%	25,5%
INFRA-ESTRUTURA	8,0%	8,0%	7,0%	3,5%
ESTRUTURA-METÁLICA	2,0%	2,0%	3,0%	9,0%
TOTAL	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

A importância desta tabela está no fato de quando se dimensiona uma equipe para as atividades a serem cumpridas numa fase inicial principalmente na elaboração de uma proposta, ela indica se esta distribuição está compatível com os pesos atribuídos a cada disciplina e se sua carga está compatível com as necessidades do projeto. Com base nos percentuais da tabela pode se quantificar o esforço necessário por cada disciplina e assim efetuar uma proposta mais consolidada.

2.4 – Organizações das Equipes de Gerência de Projetos

Uma equipe de gerência de projeto tem basicamente a formação com os seguintes cargos de gerente de projetos, engenheiro de planejamento, analista de contratos, engenheiro de qualidade, supervisores das disciplinas e equipe de controle e documentação. Para projetos maiores a presença do engenheiro de projeto se torna necessário à medida que o envolvimento técnico entre as disciplinas aumenta em função das informações interdisciplinares.

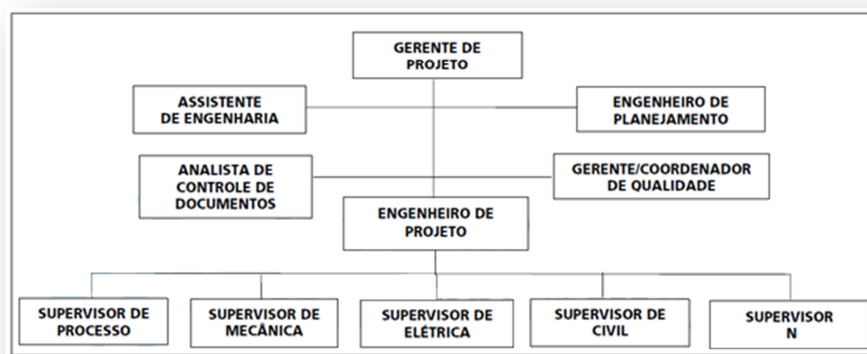


Figura 3 – Organograma Básico – (SLC – Lavalin, 2011)

Um supervisor de disciplina tem que ter no mínimo 8 a 10 anos de experiência e quanto maior sua vivência nas obras de campo maiores contribuições podem ser trazidas ao projeto.

O analista de controle de documentos é responsável pela verificação da numeração, títulos e padronização, além do recebimento dos desenhos e documentos controlados por guias de remessa (GRD).

O engenheiro de planejamento controla o cronograma das disciplinas, relatórios mensais de acompanhamento com o avanço físico e financeiro, listas de pendências e emite também a lista de documentos. Sua principal função é manter as atividades bem distribuídas e possíveis de serem executadas ao longo do tempo. Está sempre acompanhando e atualizando as necessidades das disciplinas.

Cumprindo o papel de ligação entre as informações técnicas que chegam dos clientes e as que são executadas pelas disciplinas, o engenheiro de projeto verifica a qualidade do trabalho e dá subsídios e informações para que o escopo a ser executado seja condizente com a fase na qual o projeto se encontra.

Frequentemente os trabalhos são auditados e acompanhados pelo programa de qualidade gerenciado pela equipe da qualidade.

2.5 – Estudo de Viabilidade (FEL 1) – Estudo de um caso

Para uma análise macro os projetos relativos a área de mineração de ferro, do qual este trabalho se referencia são geralmente tomados como base o tipo de processo, seco ou úmido, fatores que diferenciam a complexidade do processo de obtenção do produto final, produção ao longo de um ano, medido em MTPA (milhões de toneladas ano) e teor do ferro no minério.

Conforme descrito o estudo tem como finalidade levantar e quantificar estimativas preliminares de investimentos normalmente trabalhando com índices de levantamento de custos ao invés de planilhas quantitativas, por ser um estudo com uma fase de imprecisão na faixa de + 40% e - 25%, justificados pela falta de informações detalhadas, como geologia ou levantamentos topográficos. Nesta etapa é comum um levantamento geológico preliminar com planos de furação espaçados e conseqüente uma imprecisão maior. O Estudo direciona para uma estimativa de investimento inicial um planejamento passível de contratação ou mesmo uma inviabilidade de implantação em função de momentos do mercado para uma próxima fase.

Neste momento se aponta para possíveis Trade-offs a serem estudados na próxima fase (FEL2) para conclusão de uma única solução.

São passíveis de análises de trade-offs num processo de mineração as seguintes decisões a serem tomadas:

- ✓ Locação das Britagem Semi-Móvel;
- ✓ Peneiras modulares movimento circular e eixo excêntrico versus Peneira Elíptica’;
- ✓ Alimentadores Vibratórios Divergentes X Alimentadores de Correia para Peneiras primárias;
- ✓ Alimentador de Sapatas versus Apron Belt Conveyor;
- ✓ Produto do Britador primário alimentando diretamente o Britador secundário.

- ✓ Estudo de locação da Planta contendo no mínimo 03 alternativas de locação visando análise de movimentação de terraplanagem (corte X aterro), com relatório identificando a alternativa mais viável;
- ✓ Estudo de manuseio e rota de Transportadores visando simplificar as rotas dos Transportadores dentro da usina;
- ✓ Estudo de TCLD (Transportador de Correia de Longa distancia) x Rope Com;

Como se pode observar, os maiores estudos envolvem as disciplinas Processo, Infraestrutura e Mecânica inicialmente.

A Tabela 2 apresenta a relação das disciplinas envolvidas em um processo de projeto de uma planta de mineração, bem como a lista dos produtos gerados por cada disciplina. Essa lista serve aqui para dar uma ideia da interconexão do trabalho das diversas disciplinas.

Tabela 2 – Disciplinas do processo de um estudo de viabilidade

Disciplina	Descrição	Documentos Produzidos
Gerência de Projeto	Responsável pela coordenação geral do desenvolvimento dos serviços, tráficos de informações entre as disciplinas e os inputs do cliente, cronograma do projeto e controle de documentos e custos.	Normas de coordenação, cronograma do projeto, lista de desenhos e documentos, lista mensal de pendências, relatório mensal, plano de qualidade, estrutura analítica do projeto (EAP), relatório técnico final, relatório executivo final.
Sistemas	Responsável pelos estudos de que dimensionarão as demandas de água geral, combustível em geral além do tratamento de água e esgoto para a planta.	Dados básicos e critérios de projeto, balanço preliminar de utilidades, subsídios para composição da lista preliminar dos principais equipamentos, pré-dimensionamento dos principais equipamentos de utilidades – água bruta, Identificação de “Trade-Offs, subsídios para a composição da estimativa de custos de

		investimentos - “Capex/Opex”, e subsídios para a elaboração do relatório final do projeto.
Processo	Dimensiona os equipamentos principais do processo, como britadores, peneiras e apontam para a melhor solução (processo a seco) que garantirão a produção prevista	Dados básicos e critérios de projeto, fluxograma preliminar processo com balanço de massas, lista preliminar dos principais equipamentos mecânicos, pré-dimensionamento dos principais equipamentos, identificação de “Trade-Offs”, subsídios para a composição da estimativa de custos de investimentos – “Capex/Opex”, e subsídios para a elaboração do relatório final do projeto.
Mecânica	Representa os estudos e dimensionamentos do projeto referente aos equipamentos de manejo como transportadores, empilhadeiras, retomadoras e define com o apoio da infraestrutura o arranjo e plano diretor do projeto.	Dados básicos e critérios de projeto, arranjos conceituais, maquete em 3D, Plano geral de ocupação de áreas, subsídios para composição do fluxograma preliminar de processo, subsídios para composição da lista preliminar dos principais equipamentos mecânicos, Pré-dimensionamento c/ os principais equipamentos, Identificação de “Trade-Offs”, subsídios para a composição da estimativa de custos de investimentos – “Capex/Opex”, subsídios para a elaboração do relatório final do projeto e visita ao campo.
Elétrica	Responsável pelo projeto do estudo de demanda elétrica, distribuição e geração quando necessário.	Dados básicos e critérios de projeto, diagrama unifilar preliminar, estudos preliminar de cargas e demandas, rota básica da LT e RD, lista preliminar dos principais equipamentos elétricos, pré-dimensionamento dos principais equipamentos elétricos, identificação de “Trade-Offs”, locação preliminar das SE’s no plano geral de ocupação de áreas,

		subsídios para a composição da estimativa de custos de investimentos - "Capex/Opex" e subsídios para a elaboração do relatório final do projeto.
Automação	Definições do sistema de controle e instrumentação da planta sua concepção e filosofia e redes de processo.	Configuração Básica do Sistema de Controle, dados básicos e critérios de projeto e subsídios para a composição da estimativa de custos de investimentos - "Capex".
Comunicação	Dimensiona a rede de comunicação, acessos e equipamentos de comunicação.	Configuração Básica do Sistema de Comunicação, dados básicos e critérios de projeto, subsídios para a composição da estimativa de custos de investimentos - "Capex" e subsídios para a elaboração do relatório final do projeto.
Arquitetura	Responsável pelo dimensionamento e alocação das edificações industriais, restaurantes, escritórios, oficinas e alojamentos.	Dados básicos e critérios de projeto, dimensionamento das Unidades, plano geral de ocupação de áreas (apoio à disciplina Mecânica), subsídios para a composição da estimativa de custos de investimentos - "Capex/Opex", e subsídios para a elaboração do relatório final do projeto.
Concreto	Responsável pelo projeto civil do empreendimento envolvendo toda as áreas referente as fundações e edificações.	Dados básicos e critérios de projeto, identificação de "Trade-Offs", subsídios para a composição da estimativa de custos de investimentos - "Capex" e subsídios para a elaboração do relatório final do projeto.
Infra-estrutura	Define platôs e acessos decisivos para alocação das unidades industriais	Dados básicos e critérios de projeto, plano geral de ocupação de áreas (apoio à disciplina Mecânica), identificação de "Trade-Offs", subsídios para a composição da estimativa de custos de investimentos - "Capex" e subsídios para a elaboração do relatório final do projeto

Estrutura Metálica	Dimensiona as estruturas metálicas nas edificações industriais assim como Pipe Racks e lajes sobre vigamento metálico quando necessário.	Dados básicos e critérios de projeto, identificação de "Trade-Offs", subsídios para a composição da estimativa de custos de investimentos - "Capex" e subsídios para a elaboração do relatório final do projeto
Engenharia Econômica	Define a abrangência da estimativa contratada e requerida, o grau de precisão desejado em função da fase e conseqüentemente o nível de detalhe a ser trabalhado pelas disciplinas envolvidas.	Critério de orçamentação, subsídios para a elaboração do relatório final do projeto, estimativa de custos de investimentos – "Capex/Opex", e cotação de preços equipamentos principais ou uso base de dados.

2.6 - Conclusões do Capítulo

Os estudos desenvolvidos nesta dissertação se enquadram essencialmente na fase FEL 1, do estudo da viabilidade de um projeto de engenharia. Procuramos, nesse estudo, desenvolver uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão baseada em um algoritmo evolutivo de otimização multiobjetivo, que essencialmente faz uma procura em um espaço constituído das diversas alternativas possíveis de alocação de tarefas de projeto a diferentes membros de uma equipe de engenharia. Foi desenvolvido um estudo de caso baseado em um projeto de engenharia na área de mineração.

3 – OTIMIZAÇÃO MULTI OBJETIVO E FUNÇÕES-OBJETIVO DO PROBLEMA

3.1 - Otimização Multiobjetivo

A otimização multi-objetivo é definida como a otimização simultânea de duas ou mais funções-objetivo. Esse tipo de formulação vem sendo estudado com crescente interesse nos últimos anos, pois, se por um lado a maioria dos problemas reais envolve mais de um objetivo, por outro lado apenas nos últimos 30 anos, com a popularização dos microcomputadores, tornou-se amplamente disponível o poder computacional necessário para tratar problemas assim formulados. A seguir, descrevemos o que é a otimização multiobjetivo, bem como o tipo de solução que se encontra associado a essa classe de problemas (Takahashi, 2007).

3.1.2 - Conceitos Básicos

Seja ;

$$\mathcal{X}^* = x^* \in \mathbb{R}^n \mid$$

$$x^* = \arg \min_x f(x)$$

$$\text{sujeito a: } x \in \mathcal{F}_x$$

Seja $f(\cdot): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^M$ o vetor de objetivos do problema e $\mathcal{F}_x \subset \mathbb{R}^n$ a região factível com dimensão $n \times m$.

Os vetores $x \in \mathbb{R}^n$ são os chamados vetores de parâmetros do Problema de Otimização Multiobjetivo ou Vetorial (POM ou POV) que formam o espaço de parâmetros X . Os vetores $f(x) \in \mathbb{R}^M$ encontram-se num espaço vetorial que será aqui denominado espaço de objetivos, sendo denotado por Y .

Deseja-se, portanto, com o **POM**, realizar a determinação de um conjunto de pontos X^* pertencentes ao espaço de parâmetros do problema Y , que minimizem, em certo sentido, uma função vetorial $f(x) \in R^n$.

3.1.3 - Conjunto Pareto-Ótimo:

Dado pontos do espaço onde $f(x) \in R^n$, a representação do mapeamento destes pontos por meio da função vetorial $f(\cdot): R^2 \rightarrow R^2$ está ilustrada na figura abaixo. O conjunto imagem da função $f(\cdot)$ designado por \mathcal{I} contém as imagens dos pontos de mínimo x_a e x_b , respectivamente designados por y_a e y_b .

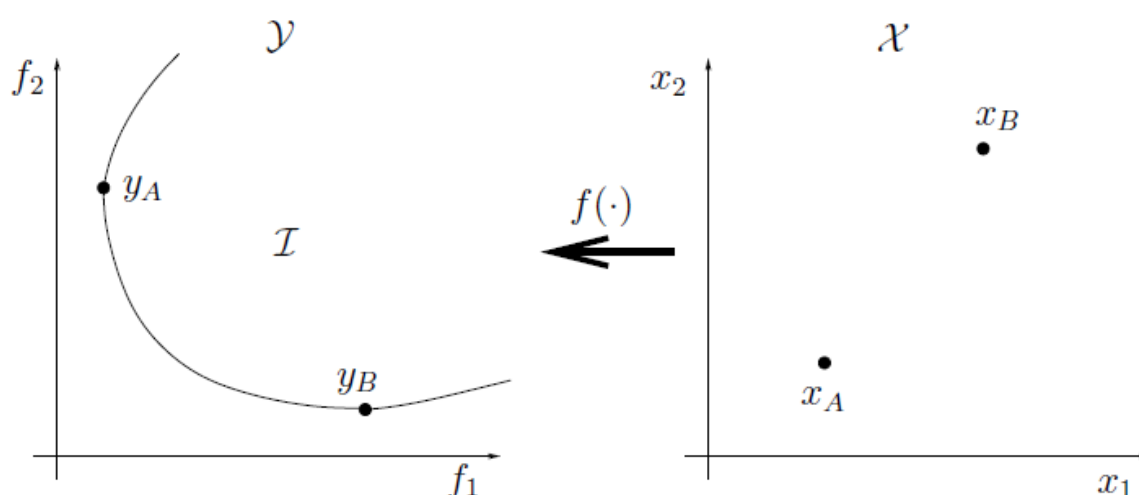


Figura 4 - Mapeamento do espaço de parâmetros X no espaço de objetivos Y feito pela função $f(\cdot)$ para um problema sem restrição.

Para um problema com restrição a figura 5 mostra o mapeamento de $f(\cdot)$, em que $F_x \subset X$. Uma observação é que embora um ponto de mínimo de algum funcional possa ocorrer no interior da região F_x , os pontos correspondentes as imagens de todos os mínimos no espaço Y , não necessariamente se encontrarão na fronteira do conjunto F_y .

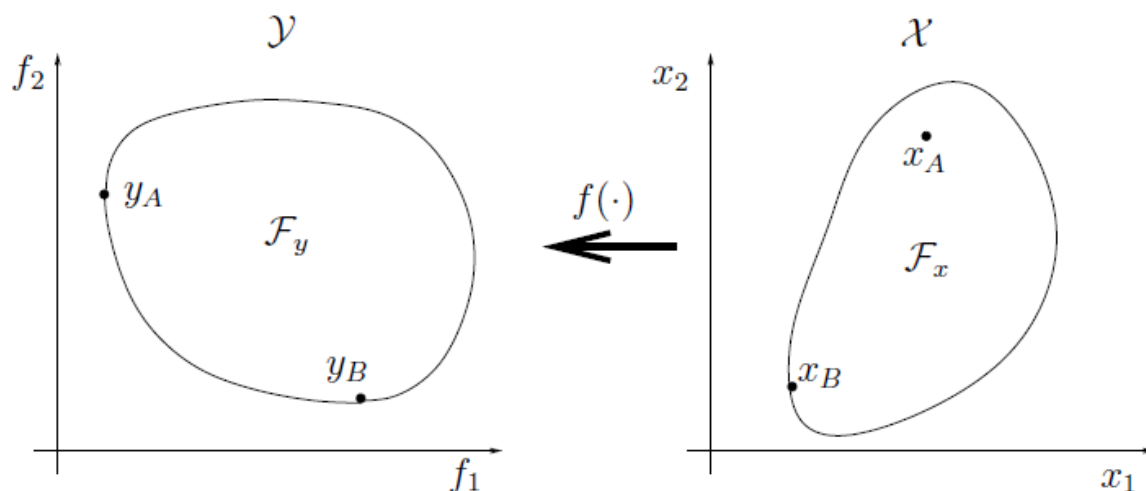


Figura 5 - A região factível no espaço de parâmetros é designada por F_x e seu conjunto imagem restrita à região factível designado por F_y .

O conjunto Pareto-ótimo é o objeto fundamental da otimização multiobjetivo que irá conter as possíveis soluções x^* do problema, ou conjunto de soluções X^* , cujos elementos são definidos a partir da noção de *Dominância*. O conceito de dominância é mostrado na figura 6 onde os pontos no interior de cada cone são dominados pelo ponto que se localiza no seu vértice.

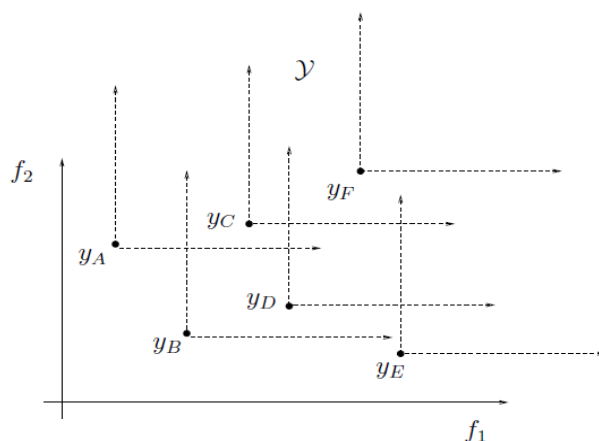


Figura 6 - Entre y_A, y_B e y_E não há relação de dominância; y_A domina y_C e y_F ; y_B domina y_C, y_D e y_F ; entre y_C, y_D e y_E não há relação de dominância; y_C e y_D dominam y_F ; y_E e y_F não dominam nenhum outro ponto.

Diz-se que $x^* \in F_x$ é uma solução Pareto-Ótima se x^* não é dominado por nenhum outro ponto factível.

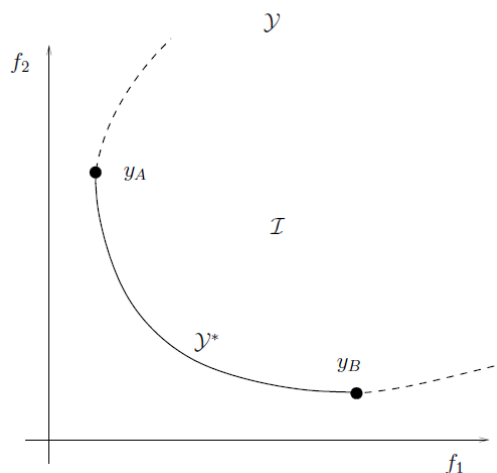


Figura 7 - Representação em linha contínua do conjunto pareto-ótimo $Y^* \in Y$

3.2 - Funções-Objetivo

Nesta seção definimos as funções-objetivo a serem empregadas no problema tratado nesta dissertação.

Sejam as seguintes definições:

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \rightarrow$ conjunto de agentes;

$K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\} \rightarrow$ conjunto de tarefas;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}' \rightarrow$ conjunto vetor tempo para iniciar uma tarefa;

Dada a função;

$$S = \{(k_j, t_j, a_i) \mid j = 1, \dots, m\} \quad (1)$$

Define-se S como o conjunto das soluções do problema, cada uma contendo a indicação da tarefa k_j começando no tempo t_j e sendo designada para o agente a_i .

Também se assume que cada agente só pode trabalhar em uma única tarefa a cada instante de tempo. O tempo para iniciar uma tarefa k_j é representado por t_j e a duração para execução da tarefa k_j pelo agente $a_i \in A$ é dado por $d_{ij} \in \mathbb{R}_+$.

Esta restrição pode ser representada como:

$$(k_{j_1}, t_{j_1}, a_i), (k_{j_2}, t_{j_2}, a_i) \in S \Rightarrow t_{j_2} \geq t_{j_1} + d_{ij_1} \quad (2)$$

Outra condição é que as tarefas possuem relações de precedência expressas pela matriz $\mathbf{P} \in \{1,0\}^{m \times n}$. O valor $p_{j_2 j_1} = 1$ representa que a tarefa k_{j_2} só poderá começar após o fim da tarefa k_{j_1} e o valor $p_{j_2 j_1} = 0$ indica que esta precedência não é necessária.

Assim, a restrição de precedência está expressa em:

$$(k_{j_1}, t_{j_1}, a_i), (k_{j_2}, t_{j_2}, a_i) \in S \text{ e } p_{j_2 j_1} = 1 \Rightarrow t_{j_2} + a_{ij} \geq t_{j_1} + d_{i1j_1} \quad (3)$$

As variáveis de decisão podem ser sintetizadas em uma matriz, $\mathbf{X} \in \{0,1\}^{n \times m}$, sendo x_{ij} uma variável binária de decisão que é igual a 1 se a tarefa $k_j \in K$ for atribuída ao agente $a_i \in A$ ou zero caso contrário e em um vetor de início do tempo $t = [t_1 \dots t_m]'$.

Essa restrição é definida abaixo:

$$\sum_{i \in A} x_{ij} = 1, \forall j = 1, \dots, m \quad (4)$$

Assim o conjunto de funções e restrições seria representado respectivamente pelas equações. (2) (3) e (4).

Um dos objetivos do problema aqui tratado corresponde à meta da minimização dos custos, conforme a expressão (5):

c_{ij} → Custo de atribuição da tarefa $k_n \in K$ ao agente $a_i \in A$;

$$Fc(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} * x_{ij} \quad (5)$$

Uma segunda função-objetivo tem o papel de representar a duração do intervalo de tempo necessário para executar todas as atividades do projeto:

$$ft(X, t) = \max_j (t_j + d_{ij} * x_{ij}) \quad (6)$$

Este trabalho propõe um mecanismo para a geração de um conjunto de amostras do conjunto Pareto-Ótimo do problema definido pelas duas funções-objetivo acima formuladas:

$$X^* = \arg \min \left(\begin{array}{c} fc(x) \\ ftp(X,t) \end{array} \right) \quad (7)$$

4 – ALGORITMOS GENÉTICOS

Cientistas da área de computação têm estudado sistemas evolucionários artificiais inspirados na organização de diversos mecanismos de adaptação encontrados em sistemas biológicos naturais. Com isso, tem sido possível desenvolver sistemas computacionais com capacidade de adaptação adequados para tratar problemas de elevada complexidade. O problema a ser tratado nesta dissertação, de procura de ótimos para problemas de sequenciamento de tarefas em sistemas dotados de agentes heterogêneos, considerando relações de precedência entre tarefas, pode ser considerado um problema complexo, que requer um mecanismo desse tipo para ser resolvido.

Nesta dissertação, será empregado um algoritmo da classe dos Algoritmos Genéticos (AGs), que são algoritmos inspirados na evolução natural das espécies de seres vivos. O algoritmo genético a ser empregado aqui, o NSGA-II (Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II), é desenvolvido especialmente para tratar de problemas de otimização com mais de uma função objetivo, os chamados problemas multiobjetivo (Deb et al, 2002).

Os algoritmos genéticos, em geral, têm as seguintes características:

- ✓ Busca simultânea sobre um conjunto de pontos, e não sobre um único ponto;
- ✓ Utilização apenas de valores das funções objetivo e de restrição, sem a necessidade do uso de derivadas;
- ✓ Utilização de regras de transição probabilísticas, e não determinísticas;

Dado um problema, como saber se um algoritmo genético irá resolvê-lo de forma eficiente. Não existe nenhuma resposta rigorosa para esta pergunta, mas se o problema não é unimodal ou se a função objetivo é ruidosa, muito provavelmente o GA se apresenta como uma ferramenta competitiva. No caso de espaços de busca discretos, como o do problema aqui tratado, a definição de unimodalidade pode ser estabelecida como sendo a de um problema não susceptível de ser resolvido por meio de procedimentos “gulosos”.

Os algoritmos genéticos têm pelo menos os seguintes elementos em comum:

- ✓ Uma População, que corresponde a um conjunto de soluções correntes, que são chamadas de Indivíduos;
- ✓ Seleção dos indivíduos que irão permanecer na população corrente na próxima iteração (também chamada de “geração”) de acordo com o chamado fitness (aptidão ou mérito), que descreve quão adequada são as soluções;
- ✓ Cruzamento, que corresponde a uma operação de mistura de características entre duas soluções da população corrente; e
- ✓ Mutação, que corresponde a uma operação de perturbação em uma solução corrente, que gera uma nova solução-tentativa.

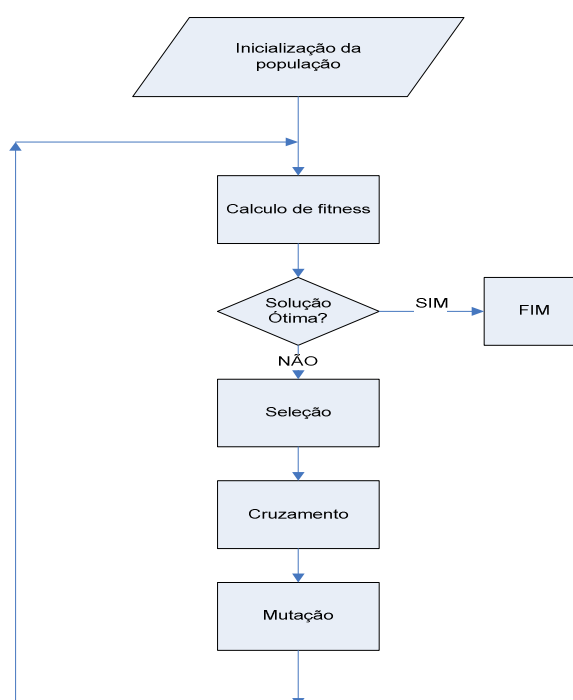


Figura 8 - Representação sequencial de uma estrutura genérica GA simples.

Conforme o fluxograma acima se pode observar que cada iteração do algoritmo genético corresponde à aplicação de um conjunto de quatro operações básicas: cálculo de aptidão (fitness), seleção, cruzamento e mutação.

Ao fim da operação de seleção, uma nova população substitui a anterior, contendo indivíduos em média melhores que os presentes na população anterior. Essa melhoria ocorre em virtude da operação de seleção, que escolhe preferencialmente indivíduos melhores para passarem para a nova população. A população inicial é gerada atribuindo-se aleatoriamente valores às variáveis.

A aptidão bruta de um indivíduo da população é medida por uma função chamada de função-objetivo do problema de otimização. Como critério de parada do algoritmo frequentemente é usada simplesmente a limitação do número de gerações em um valor pré-estabelecido.

4.1 – O Algoritmo NSGA II

O NSGA II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) é um algoritmo genético multiobjetivo que se baseia no conceito de dominância para realizar buscas que visam determinar amostras do conjunto Pareto-ótimo do problema.

Algumas características do NSGA-II incluem (Deb et al, 2002):

- ✓ Um procedimento de triagem rápida de não-dominância (“fast non-dominated sorting”) é implementado. A classificação dos indivíduos de uma determinada população de acordo com o nível de não-dominância é uma tarefa que pode ter elevada complexidade computacional se implementada de maneira ingênua. A estratégia de “fast non-dominated sorting” realiza essa tarefa com complexidade computacional $O(M N^2)$, sendo M o número de objetivos e N o número de indivíduos na população.
- ✓ O NSGA-II usa uma abordagem elitista, combinando a população anterior com a população gerada na iteração corrente, e extraíndo dessa combinação a nova população. A seleção dos indivíduos é feita levando em consideração a não-dominância e uma medida de diversidade, denominada “crowding distance”. A diversidade de soluções é garantida sem o uso de parâmetros de nicho, uma vez que a medida de crowding distance substitui a função dos nichos.

- ✓ O método de manipulação de restrição não faz uso de parâmetros de penalidade, tratando as restrições por meio de operações de comparação entre soluções, no momento da seleção.
- ✓ O NSGA-II permite o uso tanto de variáveis contínuas como discretas. No caso deste trabalho, apenas variáveis discretas serão empregadas.

4.2- Componentes do NSGA-II

Listamos a seguir as componentes do algoritmo genético NSGA-II, comentando a forma como estas são implementadas no algoritmo desenvolvido neste trabalho.

4.2.1 - Inicialização

Uma população de n indivíduos é gerada aleatoriamente. Cada um dos indivíduos da população representa uma possível solução para o problema, ou seja, um ponto no espaço de soluções.

4.2.2 - Cruzamento

Há diversos mecanismos diferentes, propostos na literatura, para a realização da operação de cruzamento. Todos esses mecanismos devem necessariamente realizar a criação de novos indivíduos que possuam características herdadas de dois indivíduos-pais, presentes na geração anterior. Como neste trabalho os indivíduos são codificados de acordo com um padrão especificamente desenvolvido para o problema em questão, também o processo de cruzamento teve de ser desenvolvido especificamente para a codificação empregada. O operador de cruzamento será explicado em detalhes posteriormente, junto com o detalhamento do algoritmo.

4.2.3 - Mutação

Também no caso da operação de mutação, há um grande número de operadores diferentes sendo atualmente utilizados pelos diferentes algoritmos genéticos descritos na literatura. O operador especificamente utilizado neste trabalho para perturbar as

soluções da população corrente, gerando novas soluções, também será descrito mais à frente, junto ao detalhamento do algoritmo, visto que também este operador é construído aqui com uma estrutura especificamente talhada para a codificação das soluções aqui empregada.

4.2.4 - Cálculo da aptidão (fitness)

A aptidão do indivíduo é determinada a partir do cálculo das funções-objetivo. Neste trabalho, cada indivíduo é uma entrada para uma ferramenta de análise de desempenho, cuja saída fornece medidas que permitem ao algoritmo genético os valores das funções-objetivo do indivíduo. A aptidão a ser empregada no processo de seleção é então calculada pelos procedimentos de “non-dominated sorting” e de “crowding distance”, discutidos a seguir.

Non-dominated Sorting

```

fast-non-dominated-sort(P)
para cada  $p \in P$ 
     $S_p = \emptyset$ 
     $n_p = 0$ 
    para cada  $q \in P$ 
        se  $(p \prec q)$  //se  $p$  domina  $q$ 
             $S_p = S_p \cup \{q\}$  //adiciona  $q$  ao conjunto de soluções dominadas
    por  $p$ 
        senão se  $(q \prec p)$ 
             $n_p = n_p + 1$  //incrementa o contador de dominância de  $p$ 
        se  $(n_p = 0)$ 
             $p_{rank} = 1$  //insere  $p$  no front 1
             $F_1 = F_1 \cup \{p\}$ 
     $i = 1$  //inicializa o contador de front
    Enquanto  $F_i \neq \emptyset$ 
         $Q = \emptyset$ 
        para cada  $p \in F_i$ 
            para cada  $q \in S_p$ 
                 $n_q = n_q - 1$ 
                se  $(n_q = 0)$ 
                     $q_{rank} = i + 1$  //neste caso  $q$  pertence ao próximo front
                     $Q = Q \cup \{q\}$  //insere  $q$  no outro nível de dominância
         $i = i + 1$ 
         $F_i = Q$ 
    fim fast-non-dominated-sort(P)

```

Figura 9 – pseudocódigo – NSGA II

O primeiro passo no processo de seleção empregado pelo algoritmo NSGA-II é a classificação dos indivíduos da população de acordo com “fronts”. O procedimento se inicia com a determinação do conjunto de indivíduos não-dominados, em relação ao conjunto de indivíduos contidos na população. Esses indivíduos são classificados no primeiro “front”, e retirados do conjunto sob análise. Os indivíduos restantes são novamente submetidos à análise de não-dominância, sendo os não-dominados classificados no segundo “front”, e também retirados do conjunto sob análise. Esse procedimento se repete até que todos os indivíduos estejam classificados em algum “front”.

Crowding Distance

Após todos os indivíduos estarem classificados dentro de um front, eles irão ser classificados pelo Operador de Diversidade (Crowding Distance) (Deb et al., 2002), que ordenará os indivíduos de forma a atribuir precedência àqueles que estiverem em regiões menos “povoadas” do espaço de objetivos. O operador de “crowding distance” opera, no caso de problemas com apenas dois objetivos, atribuindo a cada indivíduo no “front” um valor de “crowding distance” correspondente ao perímetro do retângulo cujos vértices opostos são as soluções vizinhas à que está sendo avaliada. Esses retângulos são ilustrados na figura 10. Os indivíduos situados nos extremos do front têm a eles atribuído um valor infinito de “crowding distance”, o que faz com que tenham precedência, no processo de seleção, sobre qualquer outra solução no mesmo “front”.

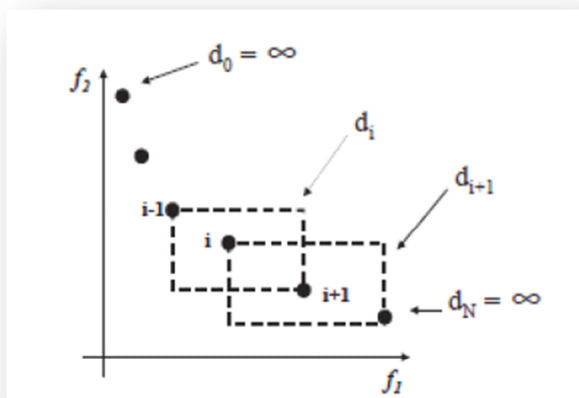


Figura 10 - Cálculo da “crowding distance” do NSGA II.

A Figura 11 mostra o pseudocódigo do algoritmo Crowding Distance.

```

crowding-distance(  $\mathcal{I}$  )
 $l = |\mathcal{I}|$  //número de soluções em  $\mathcal{I}$ 
para cada  $i \in \mathcal{I}$ ,  $\mathcal{I}[i].\text{distância} = 0$  //inicializa valor da crowding distance para cada
solução  $i$ 
para cada objetivo  $m$ 
 $\mathcal{I} = \text{ordena}(\mathcal{I}, m)$  //ordena o front em relação a cada função
objetivo
 $\mathcal{I}[1].\text{distância} = \mathcal{I}[l].\text{distância} = \infty$  //atribui um valor arbitrariamente grande às
soluções extremas do front
para cada  $i = 2$  até  $(l - 1)$ 
 $\mathcal{I}[i].\text{distância} = \mathcal{I}[i].\text{distância} + (\mathcal{I}[i+1].m - \mathcal{I}[i-1].m) / (f_m^{\max} - f_m^{\min})$ 
fim

```

Figura 11 – Pseudocódigo do algoritmo Crowding Distance.

4.2.5 - Seleção

Nesta fase os indivíduos mais aptos da geração atual são selecionados. Esses indivíduos são utilizados para gerar uma nova população por cruzamento. Há diversos

mecanismos de seleção diferentes, utilizados nos algoritmos genéticos hoje existentes. Especificamente no NSGA-II, aqui utilizado, é empregada a técnica de seleção conhecida como “torneio binário”, descrita a seguir.

Torneio Binário

No torneio binário, escolhem-se aleatoriamente dois indivíduos da população. O melhor dos dois indivíduos é selecionado para passar para a próxima geração. Os dois cromossomos são devolvidos à população e podem voltar a ser escolhidos, visto que este processo é repetido N vezes igual ao tamanho da população, até que seja formada uma população de tamanho N .

4.2.6 - Elitismo

Por fim, a nova população gerada pelo processo de seleção por torneio binário é misturada com a população anterior, e um sistema elitista entra em ação: São escolhidos deterministicamente os N melhores indivíduos desse conjunto de $2N$ indivíduos, utilizando-se como critério de precedência o mesmo mecanismo de atribuição de fitness anterior: primeiro são escolhidos os indivíduos pertencentes aos primeiros fronts, sendo o desempate nas últimas posições realizado de acordo com a “crowding distance”, num processo determinístico. A população assim formada irá prosseguir, na nova iteração do algoritmo.

5 - IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

A representação do programa em fluxograma mostra o algoritmo que foi desenvolvido neste trabalho. O objetivo deste capítulo é mostrar com maiores detalhes informações sobre o programa que foi desenvolvido em Matlab. Cada rotina integrante do programa é explicada em detalhe a seguir. Os operadores aqui empregados foram em parte inspirados naqueles desenvolvidos no trabalho (Subtil et al, 2010).

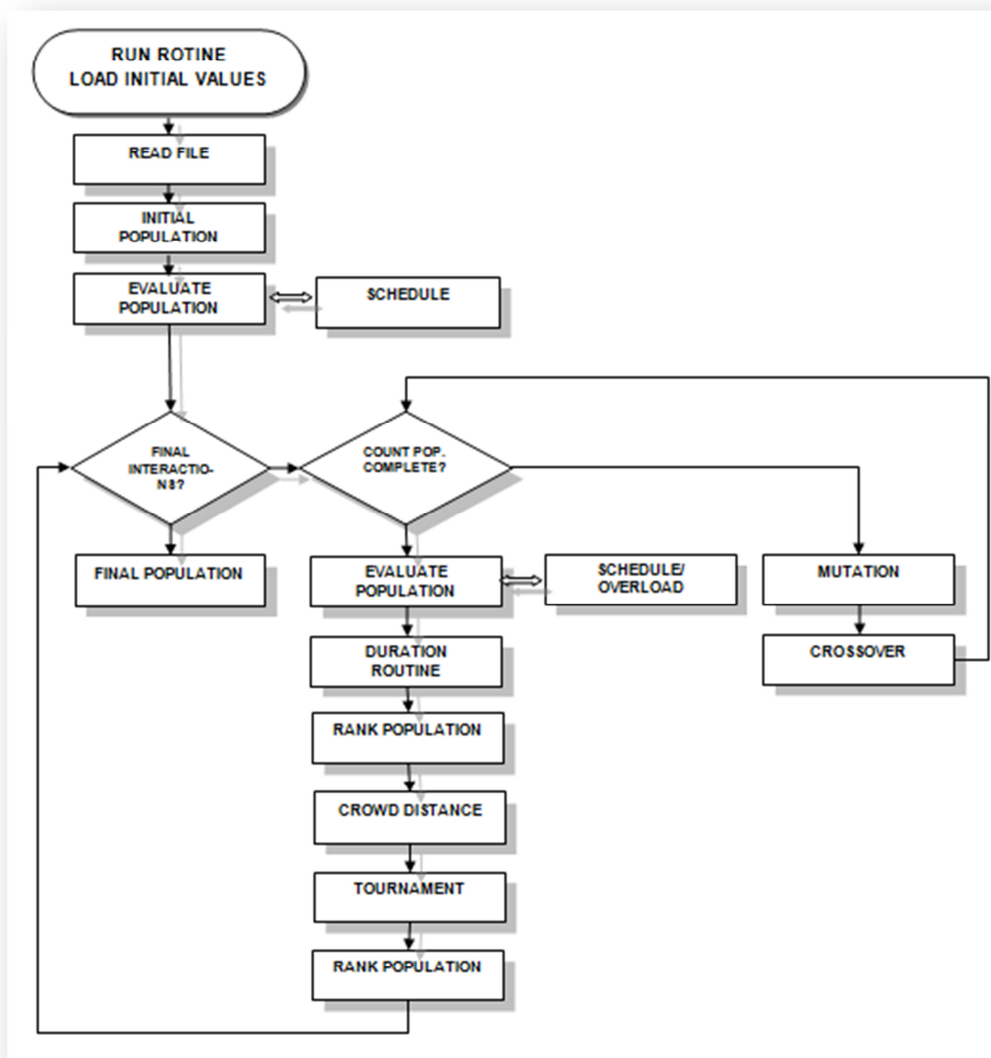


Figura 12 - Fluxograma do programa de gerenciamento de projeto

5.1 – Run Program - Programa que inicia com o carregamento de dados básicos contendo definições de tamanho da população, numera máximo de períodos a serem utilizados pela realização das tarefas, limites de recurso ou capacidade de cada agente para realização da tarefa uma vez que cada agente tem seu limite de capacidade de trabalho diário controlado para evitar possível sobrecarga. As entradas para inicialização do programa, com os respectivos valores utilizados nos testes a serem descritos no próximo capítulo, são as seguintes:

- ✓ Tamanho da população - 150;
- ✓ Número Máximo de períodos para execução da tarefa – 30;
- ✓ Capacidade dos agentes – Tabela 12;
- ✓ Número de tarefas a serem alocadas – Tabela 12;
- ✓ Número de iterações - 150;
- ✓ Esforço a ser gasto para execução das tarefas – Tabela 12;
- ✓ Probabilidade de Cruzamento – 0,8;
- ✓ Probabilidade de Mutação – 0,39;

5.2 – Read File - Leitura dos arquivos de dados de trabalho que alimentam o programa, contendo a programação prevista para as tarefas a serem executadas pelos agentes, com seus recursos, dependências e custo por tarefa.

Cada agente tem uma capacidade diferenciada pelo seu perfil ou função dentro da programação das atividades de engenharia. Um Engenheiro sênior custa mais que um engenheiro training, mas com o conhecimento adquirido é pressuposto que consiga fazer uma atividade com maior velocidade, pois para o engenheiro training possivelmente terá que procurar por colaboração, o que acarretará maior tempo no desempenho da tarefa.

Tabela 3 - Exemplo de tabela de dados gerenciamento projeto - Mecânica

			AGENTS							
			Esforço	1	2	3	4	5	6	7
TASK 1	CRITÉRIO DE PROJETO	COST	600	600	420	240	210	180	120	120
		Resources		100	70	40	35	30	20	20
		Dependências		0	-1					
TASK 2	Plano diretor preliminar	COST	3600	3600	2520	1440	1260	1080	720	720
		Resources		100	70	40	35	30	20	20
		Dependências		1	-1					

5.3 – Initial Population - Rotina de geração da população inicial. Inicialmente são atribuídas apenas as tarefas para cumprimento no primeiro período e aleatoriamente são distribuídos os agentes às tarefas.

Conforme o tamanho da população, são criadas estruturas contendo:

- ✓ Alocação da Tarefa no primeiro período;
- ✓ Custo total da Tarefa;
- ✓ Ranqueamento;
- ✓ Máxima diferença entre recursos alocados dos agentes;
- ✓ Tempo máximo de execução das tarefas;
- ✓ Recursos dos Agentes;
- ✓ Esforço a ser gasto para execução das tarefas;

O esforço a ser gasto para execução das tarefas representa o valor total dos períodos da tarefa multiplicado pela máxima capacidade de um agente, limites estes pré-definidos de capacitação técnica / humana.

Máxima capacidade de um agente = 100%

Mínima capacidade de um agente = 10%

Tabela 4 – Criação da estrutura inicial

Field ▲	Value
taskAlloc	<30x19 double>
totalCost	0
rank	0
maxDif	0
periodos	0
horasPrevistas	0
totalDays	0
Duracao	0
agentsResources	<30x7 double>
distrib_duracao	<30x7 double>

Tabela 5 – Exemplo de distribuição dos agentes aleatoriamente no primeiro período.

	Task 1	Task 2	Task 3	Task 4	Task 5	Task 6	Task 7	Task 8	Task 9	Task 10
Período 1	7	7	2	7	6	2	2	7	1	7
Período 2	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Período 3	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Período 4	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Período 5	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Período 6	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Período 7	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

5.4 – Evaluate Population – Rotina responsável pelo cálculo do recurso, custo total de cada população e esforço realizado produzido no primeiro período e consequentemente o valor do cálculo da máxima diferença entre recursos alocados dos agentes. Sempre que houver alteração por mutação e cruzamento esta rotina é acionada para recomposição dos valores.

Pseudocódigo 1 – Loop para controle e cálculo da rotina de avaliação da população.

```

Para k = 1: Tamanho Solução

    Para i=1 : Dias de trabalho

        Para j=1: Quantidades de tarefas
        Ache o agente alocado para tarefa;
        Calcule Recursos dos agentes;
        Calcule Custo Total;
        Calcule o total de dias dividindo o esforço da tarefa pelo
recurso do agente escolhido
        Fim
    Fim
    Calcula Máxima diferença;
    Executa Schedule;
Fim

```

5.5 - Schedule - Rotina responsável pelo controle dos intertravamentos entre as tarefas e sobrecarga das mesmas. Uma vez que as tarefas são distribuídas aleatoriamente no primeiro período, a primeira função exercida pela rotina é a de verificar a capacidade dos agentes de trabalho e caso seja contestada sua condição de capacidade de atuar na tarefa no dia, o agente é transferido para o período seguinte. A rotina é definida nos seguintes passos;

Passo 1 – Prioriza o trabalho no primeiro período somente para as atividades com prioridade 0 (zero), definidas pelo processo a ser executado conforme intertravamentos entre tarefas, ou seja, aquelas atividades que não possuem prioridade zero são automaticamente remanejadas para o período seguinte independente dos seus graus de intertravamentos serem diferentes de zero. Uma atividade com dependência maior que zero obrigatoriamente não pode iniciar primeiramente suas atividades em um cronograma.

Passo 2 – Verificação da capacidade de trabalho dos agentes no primeiro período. Caso algum agente não tenha condições de cumprir com as tarefas dentro do limite de

esforço estabelecido no primeiro período independente de sua prioridade ser igual a zero, este é removido para o próximo período;

Passo 3 – Verifica interdependência entre as tarefas período a período, e transporta sucessivamente para o período seguinte até completar a associação correta das tarefas no tempo;

Passo 4 - Verifica sobrecarga período a período entre os agentes em relação às atividades executadas e caso haja sobrecarga, transporta uma tarefa sucessivamente para o período seguinte até completar a associação correta das tarefas no tempo.

Premissas;

- ✓ Cada tarefa é executada por somente um agente;
- ✓ A representação dos dias trabalhados necessários a serem executados pelo agente na tarefa específica é macro, ou seja, é representado dentro da rotina no seu nível 0, como um período. Isto representa uma condição obrigatória para as operações de mutação e cruzamento preservando as características estruturais necessárias para comparações entre populações.

Tabela 6 - tabela parcial da geração e distribuição de agentes obedecendo às premissas acima executada pela rotina Schedule.

	Tarefa 06	Tarefa 07	Tarefa 08	Tarefa 09	Tarefa 10	Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13	Tarefa 14
Período 1	6	-2	-2	2	-2	-2	1	3	-2
Período 2	19	-200	-1	19	-1	-1	19	19	6
Período 3	19	-200	-1	19	-1	-1	19	19	19
Período 4	19	-200	-1	19	-1	-1	19	19	19
Período 5	19	-200	-200	19	-1	-1	19	19	19
Período 6	19	1	-200	19	-200	-1	19	19	19
Período 7	19	19	1	19	-200	-200	19	19	19
Período 8	19	19	19	19	1	-200	19	19	19
Período 9	19	19	19	19	19	1	19	19	19
Período 10	19	19	19	19	19	19	19	19	19

Os dados representados tabela seguem as seguintes convenções:

- ✓ (-2) → representa uma movimentação no primeiro período do agente para o próximo período por ser dependente de outra tarefa – Passo 1.

- ✓ (-100) → representa uma movimentação no primeiro período do agente para o próximo período por sobrecarga.
- ✓ (-1) → representa uma movimentação para o próximo período por somente dependência.
- ✓ (-200) → representa uma movimentação para o próximo período por somente sobrecarga.
- ✓ (19) → representa um período/tarefa disponível para alocação.

O círculo no número 1 na tabela representa que o agente nº 1 só executará a tarefa 07 no período 6.

Pseudocódigo 2 – Loop para controle de intertravamento e sobrecarga entre agentes.

```

Para k = 1: Períodos de trabalho
    Verifica dependências diferentes de zero;
    Movimenta para o próximo período;
    Carrega -2 no período anterior;
Fim
Para t1=1: nº de agentes
    Para t2=1: nº de tarefas
        Verifica capacidade de cada agente no período;
        Caso haja sobrecarga distribui para o próximo dia;
        Carrega -100 no período anterior;
    Fim
Para t1=2: nº de períodos
    Para t2=2: nº de tarefas
        Verifica interdependência entre tarefas nos próximos períodos e se
verdadeiro movimenta próximo período;
        Carrega -1 no período anterior;
    Fim
Fim
Para m=1: nº de agentes
    Verifica sobrecarga entre agentes no período e se verdadeiro
movimenta próximo período;
    Carrega -200 no período anterior;
Fim
Se Processou mutação e cruzamento
Executa loop de verificação de sobrecarga em todos os períodos;
Fim
Retorna para NSGA II

```

5.6 – Duration Routine - Rotina que calcula o tempo total para se realizar todas as tarefas. Este tempo representa a duração do projeto e é neste caso medido por dias corridos.

Após a contagem dos dias executados pelas tarefas em função das capacidades dos agentes, estas são classificadas obedecendo aos intertravamentos propostos para um determinado projeto e é determinado o caminho crítico, ou seja, aquele que representa a sequência de tarefas cujo atraso necessariamente implica no atraso do término do projeto.

Pseudocódigo 3 – Rotina que calcula a Duração das tarefas e o tempo total do projeto.

Calcula duração das tarefas por solução
Verifica intertravamentos e caminhos críticos;
 1. *Soma duração tarefas 1 à 3;*
 2. *Calcula Max (tarefa 4 à 14);*
 3. *Verifica caminho critico entre 15 à 19;*
Totaliza as soluções 1,2 e 3.

5.7 – Mutate - Rotina responsável pela mutação do indivíduo. Esta pode ocorrer em duas fases dependendo do valor da probabilidade de mutação.

Foram definidos 2 métodos para mutação:

- ✓ Sorteio de duas tarefas e troca de seus agentes aleatoriamente;

Tabela 7 – Mutação entre agente 02 e 03 das tarefas 09 e 13

	Tarefa 06	Tarefa 07	Tarefa 08	Tarefa 09	Tarefa 10	Tarefa 11	Tarefa 12	Tarefa 13	Tarefa 14
Período 1	6	-2	-2	2	-2	-2	1	3	-2
Período 2	19	-200	-1	19	-1	-1	19	19	6
Período 3	19	-200	-1	19	-1	-1	19	19	19
Período 4	19	-200	-1	19	-1	-1	19	19	19

Como premissa para a operação ser realizada, as tarefas deverão estar no mesmo período. Assim sendo esta operação não interfere na estrutura dos intertravamentos, mas influencia o processo de capacidade do agente, tendo que ser avaliado no Schedule apenas para verificação de sobrecarga do tipo (-200) ou (-2).

- ✓ Transferência de uma tarefa sem dependências do primeiro período para o segundo dia:

Tabela 8 – Transferência de uma tarefa sem dependência do primeiro período para o Segundo dia.

	Tarefa 1	Tarefa 2	Tarefa 3	Tarefa 4	Tarefa 5	Tarefa 6	Tarefa 7	Tarefa 8	Tarefa 9	Tarefa 10
Período 1	5	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
Período 2	19	6	-1	-1	5	-1	-1	-1	1	1
Período 3	19	19	6	-1	19	1	1	-1	19	19
Período 4	19	19	19	7	19	19	19	3	19	19
Período 5	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Período 6	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

Pseudocódigo 4 – Loop para controle da mutação troca de agentes aleatoriamente.

```

Se probabilidade < 0,4
Seleciona mutata_position_1;
Seleciona mutata_position_2
Verifica posição compatível;
Se posições compatíveis
Troca agentes;
Fim

```

Pseudocódigo 5 – Loop para controle da mutação transfere uma dependência do primeiro período para o segundo dia

```

Se (probabilidade > 0.5 && probabilidade <= 0.6)
Para i=1: nº de tarefas
Vector dependências = tarefa (i). nº Dependências;
fim
Encontre (vectorNumDep == 0);
mutatePosition = aux(randi(max(size(aux))));
Solução.taskAlloc (2,mutatePosition)
=solução.taskAlloc(1,mutatePosition);
solução.taskAlloc(1,mutatePosition) = 0;
fim

```

5.8 – CrossOver - Rotina responsável pela troca colunas entre indivíduos

Tabela 9 – Tabela de representativa da função CrossOver

	Tarefa 1	Tarefa 2	Tarefa 3	Tarefa 4	Tarefa 5	Tarefa 6	Tarefa 7	Tarefa 8	Tarefa 9	Tarefa 10
Período 1	5	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	-2
Período 2	19	6	-1	-1	5	-1	-1	-1	19	1
Período 3	19	19	6	-1	19	1	1	-1	19	19
Período 4	19	19	19	7	19	19	19	3	19	19
Período 5	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Período 6	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

Premissa:

- ✓ Para a operação ser realizada, as tarefas deverão estar no mesmo período. Assim sendo esta operação não interfere na estrutura dos intertravamentos, mas influencia o processo de capacidade do agente, tendo que ser avaliado no Schedule apenas para verificação de sobrecarga do tipo (-200) ou (-2).

Pseudocódigo 6 – Loop para controle da mutação transfere uma dependencia do primeiro período para o segundo dia

```

Seleciona randomicamente individuo1 → solução1
Seleciona randomicamente individuo2 → solução2

Se (probabilidade > 0.5)
    Para i=1: nº de tarefas
        aux= solução1.taskAlloc (i);
        solução1.taskAlloc(i)= solução2.taskAlloc(i)
        solução2.taskAlloc(i)=aux;
    fim
fim

```

5.9 – Rank Population Rotina que calcula o ranqueamento das populações em função da relação de menor custo e tempo obtidos na execução de todas as tarefas por uma população.

Pseudocódigo 7 – Loop para controle do ranqueamento

```

Rank =1;
Enquanto solução = =0
    Pareto_inicial ←Custo total e Total dias primeira solução
    Para i=2: tamanho população
        Temp= próxima solução;
        Se temp <= Pareto_inicial
            Pareto_inicial=temp;
        Se Pareto_inicial < temp
            Se não
                Vetor_pareto+1= temp;
        Se rank ==1
            Rank_solução ==solução
        Se não
            Rank_solução = Concatena(ranke_solution, solution)
        Rank=rank+1;
Fim
Fim

```

5.10- CrowdDistance - Inicialmente as soluções são comparadas em relação aos valores do fronts e vence a solução com melhor classificação. Se os fronts forem iguais, então as soluções são comparadas em relação aos valores de Crowding Distance e a solução com maior valor é escolhido.

Pseudocódigo 8 – Loop para controle do CrowdDistance

```

Rank =1;
Tam ← tamanho do ranqueamento

Para i=1 até Tam
    Separa ranqueamento em um vetor;
    Classifica vetor ← solução.duração
    Ordena vetor;
    Solução extremas ← 10^10;
    lado 1 ← custo total_anterior – custo_total posterior;
    lado 2 ← Duração_anterior – Duração posterior;
    solução.crowd ← lado1*lado2;
    Se rank ==1
        Sorted_solução ← solução_ordenada
    Se não
        Sorted_solução ← Concatena(solution_ordenada,solution)
    Rank=rank+1;
Fim
Fim

```

Os valores de CrowdDistance e Ranqueamento são utilizados no processo de seleção, como descrito no capítulo anterior.

Pseudocódigo 9 – Loop para controle do Metodo Torneio

```

Se soluçãoAux(i).rank > soluçãoAux(i+população_inicial).rank
    solução(i) ← soluçãoAux(i+população_inicial);
Se soluçãoAux(i).rank < solução(i+população_inicial).rank
    solução(i).rank ← soluçãoAux(i).rank;
Se soluçãoAux(i).rank == solução(i+população_inicial).rank
    Se soluçãoAux(i).crowd >= solução(i+população_inicial).crowd
        solução(i).rank ← soluçãoAux(i);
Se não
    solução(i).rank ← soluçãoAux(i+população_inicial);
fim

```

6 - RESULTADOS.

Para análise dos resultados as rotinas foram alimentadas com dados reais de um estudo de viabilidade da disciplina da Mecânica tendo como base as disciplinas de engenharia que compõem efetivamente este estudo (mecânica, processo, elétrica etc.). Esses dados contêm as tarefas a serem executadas, o tempo programado para todas as atividades, o custo de cada agente, seus recursos disponíveis e suas interdependências. Mesmo sendo utilizada neste trabalho apenas para a disciplina da Mecânica, esta metodologia aplica-se a todas as demais disciplinas e inclusive ao projeto como um todo.

Foi aqui utilizada como referência uma tabela em que se estimam as porcentagens de todas as disciplinas em função do projeto a ser desenvolvido. Esta tabela é um referencia prática que orienta o engenheiro orçamentista para definição e estimação das horas apresentadas numa proposta e atende basicamente aos projetos de engenharia envolvendo processo mineral, principalmente nos últimos projetos realizados no Brasil.

Os seguintes procedimentos foram adotados no processo de avaliação dos resultados do sistema aqui proposto:

- ✓ Análise das condições de sobrecargas (capacidade de cada agente em lidar com a atividade).
- ✓ Análise da obediência aos intertravamentos (sequências ordenadas na execução das tarefas).
- ✓ Análise dos prazos totais (cronograma).
- ✓ Análise dos custos.
- ✓ Análise das distribuições das tarefas para os agentes e o equilíbrio gerado na alocação das mesmas.

6.1 – Dados de Engenharia.

Um projeto de estudo de viabilidade para mineração tem com base uma estimativa de horas nas faixas entre 8000 a 12000 horas distribuídas com todas as disciplinas referenciadas na tabela 1 do capítulo 2. Com esta premissa constrói-se uma tabela distribuindo percentualmente os valores apontados na tabela 10.

Tabela 10 – previsão de homem hora por disciplina.

Disciplinas	FEL 1 - ESTUDO DE VIABILIDADE	Previsto HH
COORDENAÇÃO E PLANEJAMENTO	14,00%	1652
ENGENHARIA ECONÔMICA	7,00%	826
SISTEMAS	4,00%	472
MECÂNICA	31,00%	3658
TUBULAÇÃO	4,00%	472
INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE	2,00%	236
ELÉTRICA	13,00%	1534
PROCESSO	11,00%	1298
ARQUITETURA	2,00%	236
CONCRETO	2,00%	236
INFRA-ESTRUTURA	8,00%	944
ESTRUTURA-METÁLICA	2,00%	236
TOTAL	100,00%	11800

6.2 - Informações da Disciplina.

Sendo a Mecânica a disciplina com as maiores atividades a serem executadas nesta etapa, o estudo aqui apresentado será baseado nesta disciplina.

A tabela 11 mapeia os dados que definem e caracterizam a disciplina da Mecânica.

Tabela 11 – Tarefas com os custos, recursos e dependências da Mecânica.

			Effort	AGENTS						
				Agent 1	Agent 2	Agent 3	Agent 4	Agent 5	Agent 6	Agent 7
TASK 1	CRITÉRIO DE PROJETO	COST	600	600	420	240	210	180	120	120
		Resources		100	70	40	35	30	20	20
		Dependence		0	-1					
		Days Works		6	8,5	15	17,14	20	30	30
TASK 2	Plano diretor preliminar	COST	3600	3600	2520	1440	1260	1080	720	720
		Resources		100	70	40	35	30	20	20
		Dependence		1	-1					
		Days Works		36	51,42	90	102,8	120	180	180
TASK 3	Plano diretor consolidado	COST	300	210	300	120	105	90	60	60
		Resources		70	100	40	35	30	20	20
		Dependence		1	2	-1				
		Days Works		4,28	3	7,5	8,57	10	15	15
TASK 4	Arranjos Britagem Primária	COST	600	180	420	300	300	180	120	120
		Resources		30	70	50	50	30	20	20
		Dependence		1	2	3	-1			
		Days Works		20	8,57	12	12	20	30	30
TASK 5	Arranjos Britagem Secundária	COST	525	157,5	367,5	262,5	262,5	157,5	105	105
		Resources		30	70	50	50	30	20	20
		Dependence		1	2	3	-1			
		Days Works		17,5	7,5	10,5	10,5	17,5	26,25	26,25
TASK 6	Arranjos - Pilha Cônica/Homogeneização	COST	475	142,5	285	237,5	237,5	380	380	237,5
		Resources		30	60	50	50	80	80	50
		Dependence		1	2	3	-1			
		Days Works		15,83	7,91	9,5	9,5	5,93	5,93	9,5
TASK 7	Arranjos - Peneiramento Secundário	COST	500	150	300	250	250	400	400	250
		Resources		30	60	50	50	80	80	50
		Dependence		1	2	3	-1			
		Days Works		16,66	8,33	10	10	6,25	6,25	10
TASK 8	Britagem Terciária - Arranjos Mecânicos	COST	550	165	330	275	275	440	440	275
		Resources		30	60	50	50	80	80	50
		Dependence		1	2	3	-1			
		Days Works		18,33	9,16	11	11	6,8	6,87	11
TASK 9	Pátio de Estocagem - Arranjos Mecânicos	COST	400	120	240	200	200	320	320	200
		Resources		30	60	50	50	80	80	50
		Dependence		1	2	3	-1			
		Days Works		13,33	6,66	8	8	5	5	8
TASK 10	Estação de Carregamento - Arranjos Mecânicos	COST	625	187,5	375	312,5	312,5	500	500	312,5
		Resources		30	60	50	50	80	80	50
		Dependence		1	2	3	-1			
		Days Works		20,83	10,41	12,5	12,5	7,81	7,81	12,5
TASK 11	Sistema de Amostragem - Arranjos Mecânicos	COST	350	105	210	175	175	280	280	175
		Resources		30	60	50	50	80	80	50
		Dependence		1	2	3	-1			
		Days Works		11,66	5,83	7	7	4,37	4,37	7

TASK 12	Estação de Tratamento de Água - Arranjos mecânicos	COST	600	180	360	300	300	480	480	300
		Resources		30	60	50	50	80	80	50
		Dependence		1	2	3	-1			
		Days Works		20	10	12	12	7,5	7,5	12
TASK 13	Compressores - Arranjos Mecânicos	COST	300	90	180	150	150	240	240	150
		Resources		30	60	50	50	80	80	50
		Dependence		1	2	3	-1			
		Days Works		10	5	6	6	3,75	3,75	6
TASK 14	Transportadores de Correia - Arranjos Mecânicos	COST	600	180	360	300	300	480	480	300
		Resources		30	60	50	50	80	80	50
		Dependence		1	2	3	-1			
		Days Works		20	10	12	12	7,5	7,5	12
TASK 15	Memória de Cálculo - Dimensionamento dos Equipamentos - Mecânicos	COST	1000	300	600	500	500	800	800	500
		Resources		30	60	50	50	80	80	50
		Dependence		4	5	6	7	8	9	10
		Days Works		33,33	16,66	20	20	12,5	12,5	20
TASK 16	Subsídios para a composição da estimativa de investimentos - Capex/Opex - Mecânica	COST	500	450	400	300	300	150	100	100
		Resources		90	80	60	60	30	20	20
		Dependence		15	-1					
		Days Works		5,55	6,25	8,33	8,33	16,66	25	25
TASK 17	Subsídios para a elaboração do relatório final do projeto - Mecânica	COST	3000	1500	2400	2400	2400	900	900	900
		Resources		50	80	80	80	30	30	30
		Dependence		2	3	15	-1			
		Days Works		60	37,5	37,5	37,5	100	100	100
TASK 18	Modelo 3D - Arranjo Geral da Planta – Mecânica	COST	610	610	1220	3050	3050	6100	6100	6100
		Resources		10	20	50	50	100	100	100
		Dependence		3	4	5	6	7	8	9
		Days Works		61	30,5	24,2	24,2	12,1	12,1	12,1
TASK 19	Consolidação da Lista de Equipamentos Mecânicos	COST	300	180	270	180	180	180	30	30
		Resources		60	90	60	60	60	10	10
		Dependence		15	-1					
		Days Works		5	3,33	5	5	5	30	30

A Mecânica junto com Processo são as disciplinas mais importantes, ou de maiores pesos na definição e conceituação do projeto nesta fase, que norteiam as informações das demais disciplinas.

Pode-se observar que quanto maior o custo de um agente maior é a probabilidade de executar a tarefa com maior rapidez e qualidade. Trata-se da curva do conhecimento em que se emprega junto com o custo um maior recurso técnico.

O critério de projeto e o plano diretor são as atividades que obrigatoriamente liberam informações para subsidiar o trabalho posterior nos arranjos mecânicos, gerar

relatórios para subsidiar o levantamento dos custos capitais e operacionais (Capex/Opex), e relatório final contendo memorial descritivo e critérios adotados.

Ao total são 19 tarefas a serem realizadas por 7 agentes com perfis, grau de conhecimento e custos diferentes. Cada tarefa se diferencia uma das outras por serem executadas por agentes que tem pesos variáveis que dependem da complexidade das atividades, sendo que seus recursos variam nas mesmas proporções.

Ao aplicarmos os dados da tabela 11 no algoritmo proposto temos a seguinte curva Pareto-ótima. O eixo y representa o custo total da execução das tarefas pela população e o eixo x o tempo executado, representando a duração, ou seja, o cronograma das atividades alocadas.

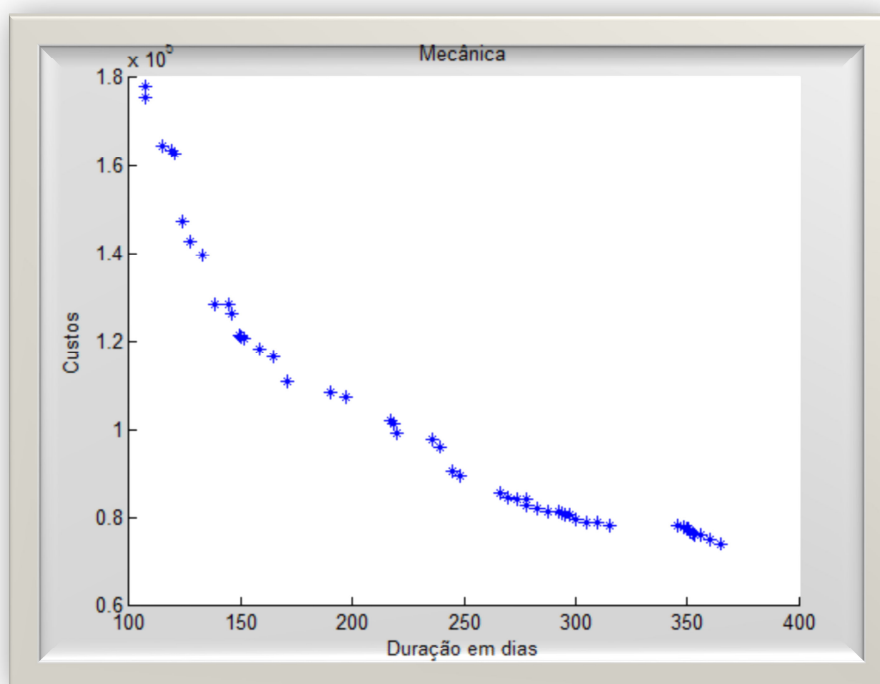


Figura 13 - Relação entre custo x tempo disciplina Mecânica

6.3 - Análises do resultados.

Para uma primeira análise dos resultados foi fixada a capacidade do agente em torno de 150.

Tabela 12 – Dados iniciais de entradas

Field Δ	Value
popSize	150
numberOfAgents	7
periodos	30
agentCapacity	150
numberOfTasks	19
maxIterations	150
crossoverProbability	0.8
mutationProbability	0.39
effortOfTask	<1x19 double>

Para uma população de 150 e número máximo de iterações de 150 foi obtida a curva Pareto-ótima da figura 13. Foram escolhidos 4 pontos contendo possíveis soluções conforme marcado na curva de Pareto da figura 14.

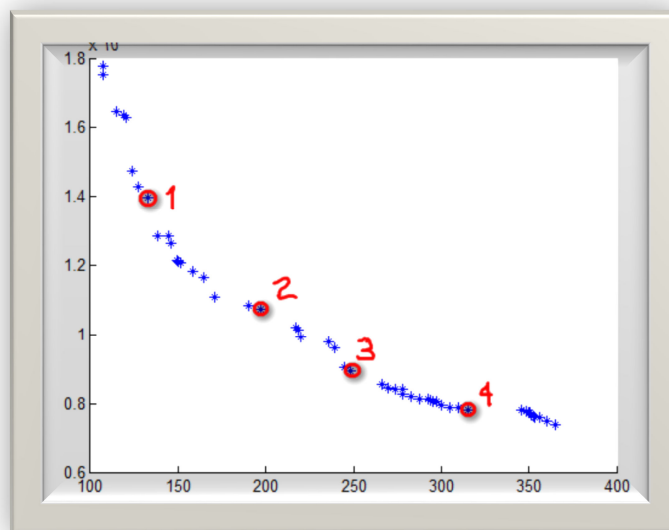


Figura 14 – Escolha de 4 coordenadas para análise de suas soluções.

A análise dos quatro pontos escolhidos é apresentada a seguir.

Solução 1 :

Field ▲	Value
taskAlloc	<30x19 double>
totalCost	1.428e+005
rank	1
maxDif	470
periodos	6
horasPrevistas	3008.2
totalDays	376.02
Duracao	127.19
agentsResources	<30x7 double>
distrib_duracao	<30x19 double>
crowd	67868

Figura 15 – Estrutura solução 1.

O custo total para esta solução seria de 142.800,00 unidades monetárias para um cronograma de 127,19 dias totais o equivalente a 3.008,2 Homens/horas. Comparando a tabela de referência 10 temos que para a Mecânica é estimado uma carga de 3658 Hh, o que a princípio representa um avanço no cronograma (redução do prazo) acarretando um custo de 142.800,00 unidades monetárias.

Solução 2:

Field ▲	Value
taskAlloc	<30x19 double>
totalCost	1.084e+005
rank	1
maxDif	290
periodos	6
horasPrevistas	3679.2
totalDays	459.9
Duracao	190.4
agentsResources	<30x7 double>
distrib_duracao	<30x19 double>
crowd	7716

Figura 16 – Estrutura solução 2.

Analisando a solução 2 o custo total para esta solução seria de 108.400,00 unidades monetárias para um cronograma de 190,40 dias e que representa 3679,20 Homens/horas. Comparando a tabela de referência 11 temos que para a Mecânica é estimada uma carga de 3658 Hh, carga esta praticamente equivalente ao realizado, e com um valor menor que a solução 1 de (142.800,00 – 108.400,00= 34.400,00) unidades monetárias.

Solução 3:

Field ▲	Value
taskAlloc	<30x19 double>
totalCost	89200
rank	1
maxDif	330
periodos	6
horasPrevistas	4299,9
totalDays	537,49
Duracao	248,57
agentsResources	<30x7 double>
distrib_duracao	<30x19 double>
crowd	63648

Figura 17 – Estrutura solução 3.

Já a solução 3 tem um custo total de 89.200,00 unidades monetárias para um cronograma de 248,57 dias, o que equivale a 4.299,90 Homens/horas.

Solução 4:

Finalmente a análise para a solução 4 representa o custo total para esta solução de 78.000,00 unidades monetárias para uma duração de 315 dias equivalente a 4.831,30 Homens/horas.

Field ▲	Value
taskAlloc	<30x19 double>
totalCost	78000
rank	1
maxDif	280
periodos	6
horasPrevistas	4831,3
totalDays	603,92
Duracao	315
agentsResources	<30x7 double>
distrib_duracao	<30x19 double>
crowd	4000

Figura 18 – Estrutura solução 4

A necessidade do projeto vai influenciar diretamente nos objetivos a serem elaborados e para isso a curva Pareto-ótima revela n soluções capazes de atender a esta demanda. Se considerarmos que o tempo é fator mais importante do que os custos, estaríamos procurando soluções com períodos menores como a solução 1 apresentada. Caso o custo seja mais relevante, seria mais conveniente a solução 4.

6.4 - Alocações de recursos

O Objetivo desta análise é verificar a distribuição dos agentes para execução das tarefas.

Observando os resultados nota-se claramente que a solução número 2 escolhida apresenta uma distribuição melhor para com os agentes enquanto as demais deixaram no mínimo um agente sem alocação, não preservando uma alocação de todos os agentes. Outra análise que se pode ser feita é que caso haja alguma indisponibilidade de um agente no planejamento do projeto, poderemos escolher uma solução que permita trabalhar sem a mão de obra deste agente.

Quanto maior a distribuição para os agentes em ordem crescente, maiores os custos e menores os tempos. Isto significa que os primeiros agentes têm um custo maior, relacionado com a senioridade e conhecimento das atividades a serem desenvolvidas.

Tabela 13 -- Alocação de recursos para População em análise solução 1

	Agente 1	Agente 2	Agente 3	Agente 4	Agente 5	Agente 6	Agente 7
Período 1	0	70	0	0	0	0	0
Período 2	100	0	0	0	0	0	0
Período 3	70	0	0	0	0	0	0
Período 4	120	0	0	0	30	0	0
Período 5	150	20	0	50	0	0	0
Período 6	30	0	80	0	0	30	0
Período 7	0	0	0	0	0	0	0
Período 8	0	0	0	0	0	0	0
Período 9	0	0	0	0	0	0	0
Período 10	0	0	0	0	0	0	0
Total	470	90	80	50	30	30	0

Tabela 14 - Alocação de recursos para População em análise solução 2.

	Agente 1	Agente 2	Agente 3	Agente 4	Agente 5	Agente 6	Agente 7
Período 1	0	70	0	0	0	0	0
Período 2	0	0	40	0	0	0	0
Período 3	0	0	0	0	30	0	0
Período 4	120	0	0	0	0	0	50
Período 5	150	0	0	50	0	0	0
Período 6	40	0	80	0	0	20	10
Período 7	0	0	0	0	0	0	0
Período 8	0	0	0	0	0	0	0
Período 9	0	0	0	0	0	0	0
Período 10	0	0	0	0	0	0	0
Total	310	70	120	50	30	20	60

Tabela 15 - Alocação de recursos para População em análise solução 3.

	Agente 1	Agente 2	Agente 3	Agente 4	Agente 5	Agente 6	Agente 7
Período 1	0	70	0	0	0	0	0
Período 2	0	0	0	0	30	0	0
Período 3	0	0	0	0	30	0	0
Período 4	150	0	0	0	0	40	0
Período 5	130	0	0	50	0	0	0
Período 6	50	0	0	0	0	10	20
Período 7	0	0	0	0	0	0	0
Período 8	0	0	0	0	0	0	0
Período 9	0	0	0	0	0	0	0
Período 10	0	0	0	0	0	0	0
Total	230	70	0	50	60	50	20

Tabela 16 - Alocação de recursos para População em análise solução 4.

	Agente 1	Agente 2	Agente 3	Agente 4	Agente 5	Agente 6	Agente 7
Período 1	0	0	0	0	0	0	20
Período 2	0	0	0	0	30	0	0
Período 3	0	0	0	0	0	20	0
Período 4	150	0	0	0	0	20	20
Período 5	130	0	0	50	0	0	0
Período 6	0	0	0	0	30	30	0
Período 7	0	0	0	0	0	0	0
Período 8	0	0	0	0	0	0	0
Período 9	0	0	0	0	0	0	0
Período 10	0	0	0	0	0	0	0
Total	280	0	0	50	60	70	40

6.5 - Sobrecargas e intertravamentos

Um aspecto importante das soluções a serem produzidas é o respeito às capacidades dos agentes e às sequências de intertravamento de tarefas.

Toda e qualquer atividade só pode ser executada por um único agente. Atividades com prioridade zero não necessariamente devem ser iniciadas no primeiro período. Agentes com sobrecargas têm transferidas as suas atividades para o próximo período e toda a sequência posterior é transferida adiante.

Foi verificado que os requisitos de não sobrecarga e intertravamentos foram fielmente atendidos nas n soluções realizadas. A título de exemplo analisaremos a solução número 2.

A tarefa 1 (critérios de projeto) é a primeira atividade da mecânica a ser realizada, e conforme programação da tabela abaixo é executada pelo agente 2. Após a execução e término do critério de projeto inicia-se a atividade do Plano diretor preliminar (agente 3). Em seguida é elaborado o plano diretor consolidado (tarefa 03 – agente 5).

Os arranjos das áreas dependem da conclusão do critério, plano diretor preliminar e consolidado, logo estes só se iniciam no quarto período de trabalho.

Observar que no período 1, exceto a tarefa 1, todas as tarefas foram preenchidas com (-2) o que indica, no âmbito do algoritmo desenvolvido, a possibilidade de movimentação posterior, devido a uma prioridade diferente de zero. Esta sequência é mais observada quando existem muitas tarefas com prioridade zero, o que permite o seu início independente das demais.

Tabela 17 – Distribuição das tarefas ao longo do tempo para a solução 2.

	Task 01	Task 02	Task 03	Task 04	Task 05	Task 06	Task 07	Task 08	Task 09	Task 10	Task 11	Task 12	Task 13	Task 14	Task 15	Task 16	Task 17	Task 18	Task 19
Per. 01	2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
Per. 02	19	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Per. 03	19	19	5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Per. 04	19	19	19	1	1	7	1	1	-200	-200	-200	-200	-200	-200	-1	-1	-1	-1	-1
Per. 05	19	19	19	19	19	19	19	19	1	1	1	1	1	-200	4	-1	-1	-200	-1
Per. 06	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	1	19	6	3	1	7
Per. 07	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Per. 08	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Per. 09	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Per. 10	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

As tarefas de 04 a 14 não poderão iniciar suas atividades antes do período 03. Isso de fato se verifica, respeitando desta forma o princípio dos intertravamentos. A tarefa 2 depende da 1 e a 3 depende da 2. Para verificação da sequência de intertravamentos ver tabela 18.

Após a distribuição dos agentes em função dos intertravamentos é verificado o princípio da capacidade dos agentes em desempenharem as suas atividades de acordo com as condições de recursos e seus limites. O limite máximo por agente e por atividade no mesmo período adotado neste contexto foi de 150.

Cada esforço do agente no mesmo período será somado e a soma comparada com a sua capacidade de execução de atividades. Caso seja ultrapassado o valor estabelecido, o agente só poderá iniciar a próxima tarefa no período posterior.

Neste exemplo, no período 04 o agente 1 foi alocado 4 vezes, nas tarefas 4, 5, 7 e 8 respectivamente. Verificando na tabela 10 da mecânica seu recurso para atividades temos $30+30+30+30 = 120$, que ainda é inferior ao limite máximo permitido de sobrecarga que é menor ou igual a 150.

Assim, observa-se que são cumpridos todos os requisitos que constituem as restrições do problema de otimização aqui tratado.

Tabela 18 – Representação do sequencial adotado para os intertravamentos entre tarefas

INTERTRAVAMENTOS	
Tarefa 1	0 -1
Tarefa 2	1 -1
Tarefa 3	2 1 -1
Tarefa 4	1 2 3 -1
Tarefa 5	1 2 3 -1
Tarefa 6	1 2 3 -1
Tarefa 7	1 2 3 -1
Tarefa 8	1 2 3 -1
Tarefa 9	1 2 3 -1
Tarefa 10	1 2 3 -1
Tarefa 11	1 2 3 -1
Tarefa 12	1 2 3 -1
Tarefa 13	1 2 3 -1
Tarefa 14	1 2 3 -1
Tarefa 15	4 5 6 7 8 -1
Tarefa 16	15 -1
Tarefa 17	2 3 15 -1
Tarefa 18	3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 -1
Tarefa 19	15 -1

6.6 - Duração

Utilizando os recursos do software de planejamento Project (Microsoft) foram traçados 2 cronogramas para mostrar a distribuição das tarefas no tempo, comparando as duas primeiras soluções, que levam a prazos de execução de 127,19 e 190,40 dias respectivamente.

Solução 1;

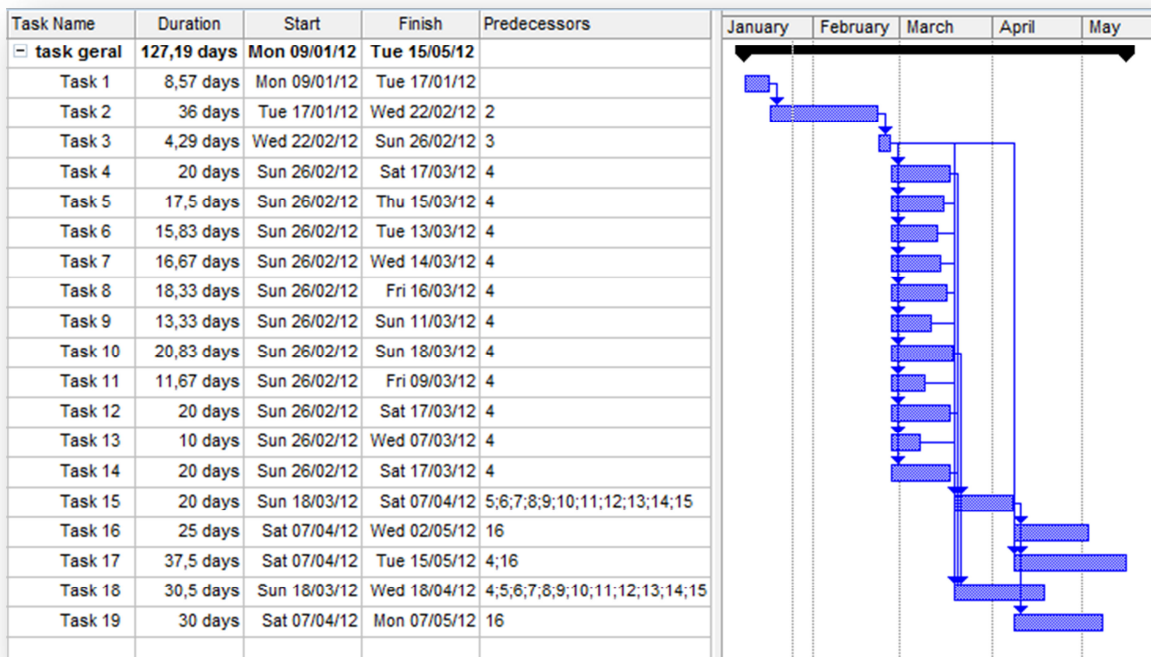


Figura 19 – Programação da solução 1 no Project.

Solução 2;

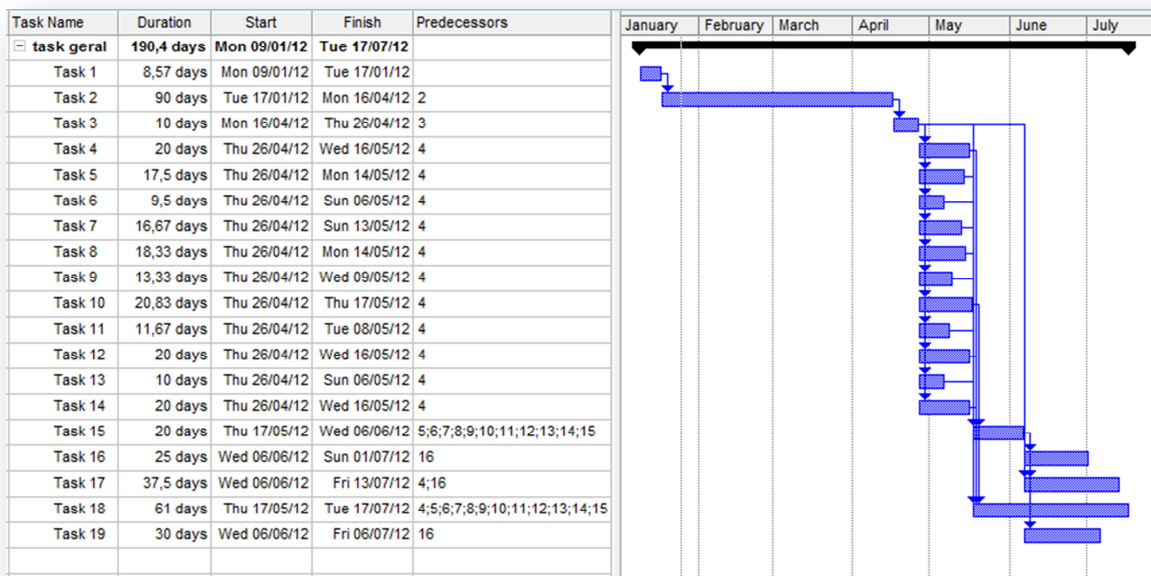


Figura 20 - Programação da solução 2 no Project.

Esses gráficos ilustram a existência de diferentes possibilidades de exploração do paralelismo de tarefas no desenvolvimento do projeto. Essas possibilidades são examinadas pelo algoritmo de otimização multiobjetivo desenvolvido, o qual produz um conjunto de diferentes soluções “razoáveis”, com diferentes relações custo x prazo.

7 - CONCLUSÃO

Este trabalho abordou o desenvolvimento de uma técnica multiobjetivo para a alocação de tarefas a equipes de projeto. Tal técnica visa auxiliar o planejamento do projeto na fase de estudo de viabilidade. A técnica proposta visa a geração de diferentes cenários Pareto-ótimos, que descrevam o trade-off entre o prazo de execução do projeto e o custo dessa execução.

A técnica de otimização empregada aqui é baseada no clássico algoritmo genético de otimização multiobjetivo NSGA-II. De específico para o problema em questão, foi necessário estabelecer uma metodologia para o tratamento das restrições de precedência entre tarefas e de carga máxima dos agentes. Foram também desenvolvidos operadores específicos de cruzamento e de mutação especialmente adaptados ao problema.

O algoritmo proposto foi testado em um problema real, em um projeto de uma planta de mineração. O estudo aqui apresentado diz respeito à parcela do projeto referente à disciplina de Mecânica. Os resultados obtidos nesse estudo dão suporte à conclusão de que a metodologia aqui proposta possa ser uma valiosa ferramenta gerencial de auxílio à tomada de decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Deb, K. ; Pratap, A. ; Agarwal, S. ; Meyarivan, T. (2002). *A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II*. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation**. 6(2):182-197.
- Subtil, R. F.; Carrano, E. G.; Souza, M. J. F.; Takahashi, R. H. C. (2010). *Using an enhanced Integer NSGA-II for Solving the Multiobjective Generalized Assignment Problem*. **Proceedings of the 2010 IEEE Congress on Evolutionary Computation**. Barcelona, Spain.
- Takahashi, R. H. C. (2007). **Notas de Aula Otimização Escalar e Vetorial**, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Publicações FGV management (2012) – **Série Gestão Empresarial**.
- PMI (2008 e 2009) **O Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos**, 3a e 4a edições.
- VALE PR-E-200 (2007) – **Implantação de Empreendimentos pelo Método Front End Loading**. Rev. 3, Belo Horizonte.

A – GESTÃO DE PROJETO

A.1 – Sistemas de gestão de projeto no contexto do trabalho

As etapas para os tratamentos dos resultados obtidos, que mapeiam possíveis soluções de gerenciamento de um projeto como o de um estudo de viabilidade do qual se referencia e baseia este trabalho, ou de quaisquer outras fases de um projeto, se complementam a partir das inclusões das melhores práticas de gestão de gerenciamento, pois estas metodologias constroem um verdadeiro caminho ao objetivo final de um projeto.

Analisar os resultados obtidos neste trabalho favoravelmente representa uma conquista que abre inúmeras possibilidades de planejamento estratégico, evidenciando na primeira linha o tempo e o custo. Mas o que fazer com esses resultados para conquistar o objetivo final do todo este processo?

Este capítulo aborda um caminho do mundo da gestão de projetos que se consolida cada vez mais no cotidiano dos negócios independente da sua natureza.

Os projetos podem ser definidos como uma combinação de recursos organizacionais reunidos para criar algo que ainda não exista e que fornecerá um avanço de desempenho na capacidade de projetar e executar as estratégias organizacionais (FGV, 2012).

Segundo colocação do PMBOK (PMI, 2008 (p.5)), “um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo” e todo projeto tem início e fim quando atinge os seus objetivos, conclui que os objetivos traçados não serão ou não poderão ser alcançados e o projeto for encerrado, ou quando o mesmo não for mais necessário ou impossível de concluir conforme a sua meta.

Por ser temporário não significa dizer que o seu resultado também é, pois o produto de um projeto pode criar resultados por vários anos ou mesmo séculos, como no caso da Grande Muralha que se estende por cinco mil quilômetros de leste a oeste no norte da China que foi construída ao longo de várias dinastias. .

Exclusivo significa que cada projeto é singular, entrega um produto ou serviço final diferente / único de qualquer outro projeto. Embora muitos projetos possam ser similares, diferentes adequações e customizações fazem com que cada um seja único.

“Um projeto é um empreendimento planejado que consiste num conjunto de atividades inter-relacionadas e coordenadas, com o fim de alcançar objetivos específicos dentro dos limites de um orçamento e de um período de tempo dados.” (ONU, 1984)

Como exemplos de projetos, podem-se citar os seguintes:

- ✓ Instalação de uma planta de beneficiamento de minério de ferro;
- ✓ Construção ou reforma de uma ponte;
- ✓ Elaboração de uma dissertação ou tese;
- ✓ Planejamento de uma Viagem;
- ✓ Penteado para um casamento Real;

Existem quatro considerações sempre envolvidas num projeto, que é o custo, prazo, melhoria de desempenho de capacidade que o projeto proporcionará, e como os resultados do projeto endereçarão a estratégia patrocinada pela organização.

A.2 – Gerenciamentos de Projetos

É a capacidade de aplicar os conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas nas atividades de um determinado projeto, a fim de atender aos seus requisitos e necessidades. Identificar requisitos, adaptar as diferentes necessidades, expectativas, obedecer às restrições com o balanceamento destes no escopo, cronograma, orçamento, recursos e riscos.

Para um acompanhamento de um gerenciamento controlado é necessária uma metodologia aplicada independente da sua filosofia o que pode em determinado projeto um ser mais eficiente do que a outra por sua melhor aplicabilidade e recursos disponíveis.

De uma metodologia cria-se uma gestão profissional de projetos que pode ser realizada através da aplicação e integração apropriada de, por exemplo, dos 42

processos, agrupados em 5 grupos e das 9 áreas de conhecimento abordados no PMBOK 4ª Edição, que serão comentadas superficialmente (PMI, 2008).

A.3 – Benefícios Esperados

Gerenciamento de Projetos pode ser aplicado a todos os empreendimentos independente de sua complexidade e custo, e tamanho. Destacam-se os seguintes benefícios, como:

- ✓ Evitar surpresa antecipa situações desfavoráveis para estar preparado para adversidades do projeto com ações preventivas e corretivas;
- ✓ Melhorar o suporte às oportunidades de projetos;
- ✓ Reduzir e controlar o tempo, custo e risco e acréscimo da qualidade;
- ✓ Desenvolver diferenciais competitivos com uso de metodologia estruturada;
- ✓ Agilizar as decisões, através da disponibilização e uso de informações estruturadas
- ✓ Maior controle gerencial nas fases a serem implementadas;
- ✓ Controlar eventuais revisões no projeto;
- ✓ Distribuir e melhorar o controle da alocação de pessoas, equipamentos e materiais;
- ✓ Facilitar a estimativa de futuros projetos com base nas lições aprendidas;
- ✓ Melhorar a rastreabilidade das informações e documentação;
- ✓ Comparar os desempenhos (Benchmark)

A.4 - Escritório do Gerenciamento de projeto (PMO)

Com o aumento do controle e da responsabilidade apresentados pelo sucesso de um projeto, as empresas se sentem orientadas a acolher e criar dentro da sua organização, escritório de gerenciamento de projeto (PMO), centro de excelência com esforços para mudança organizacional, visando melhorar as práticas gerenciais com

alocação de especialistas em gerência de projetos dedicados a atuação na integração da equipe como um facilitador na elaboração do planejamento, cronogramas, escopo e o próprio gerenciamento e controle de todas as atividades que devem ser executadas para atingir os objetivos planejados.

O PMO é a fonte central para o suporte à gerência de projetos dentro de uma organização preparada com ferramentas e softwares, recursos para treinamento e suporte, direção, metodologia, padronização, controle de qualidade, visão geral dos projetos e repositório do conhecimento e do planejamento executivo.

Para a padronização de uma metodologia a ser implantado dentro da empresa é necessário que estejam alinhados as metas, objetivos e cultura compatível com os objetivos da empresa e que esta seja aceita pela organização.

A.5 – Stakeholders do Projeto

Os interessados (*Stakeholders*) do projeto são organizações, pessoas ativamente envolvidas ou cujos interesses podem ter influências positiva ou negativas para a execução ou término do projeto, influenciando no entregáveis e definições dos membros das equipes.

É possível ocorrer conflitos de interesse entre os interessados.

A.6 – Ciclos de Vida

O ciclo de vida de um projeto consiste nas fases do mesmo ou conjunto de fases, marcada pela entrega, tangível, mensurável e fácil identificação de um ou mais produtos (*deliverables*) frequentemente sequenciais e podendo se sobrepor, com as necessidades de gerenciamento e controle determinando o nome e número da natureza do projeto e aplicação.

Exemplificando, um projeto de estudo de viabilidade inicia-se com a definição de um plano diretor, contendo as locações na planta das unidades operacionais e

administrativas de um complexo mineral. Com base nestes dados definiram-se os critérios de projeto que nortearão os conceitos básicos do projeto para depois desenvolver os fluxogramas de processo, arranjos conceituais das unidades, rotas e utilidades além de outros documentos de todas as disciplinas envolvidas no estudo, até um relatório concentrando o montante de desembolso financeiro para o investimento a ser realizado (Capex e Opex) objeto maior do estudo. O grau de incerteza ou imprecisão nesta fase chega aos 40% de acerto devido a poucas informações ou a falta de maiores definições e análise de amostras das fontes minerais, prospecção, ou seja, conhecimento e domínio do processo a ser mais bem trabalhado.

Todos os projetos compõem de um ciclo de vida início, meio e fim independente do tamanho dependendo da complexidade do projeto. No início define-se o escopo a ser feito e a equipe envolvida. Quando uma fase termina, inicia outra e ao seu final é caracterizado pela revisão dos produtos e desempenho no momento.

Muito comumente acontece a sobreposição de fase, devido às necessidades de entrega e cumprimentos de prazos e esta ação é chamado na prática de “fast tracking”. Em projetos de engenharia algumas atividades de engenharia detalhadas são geradas paralelamente as atividades de engenharia básica, aproveitando os conceitos, os critérios e o memorial descritivo do processo.

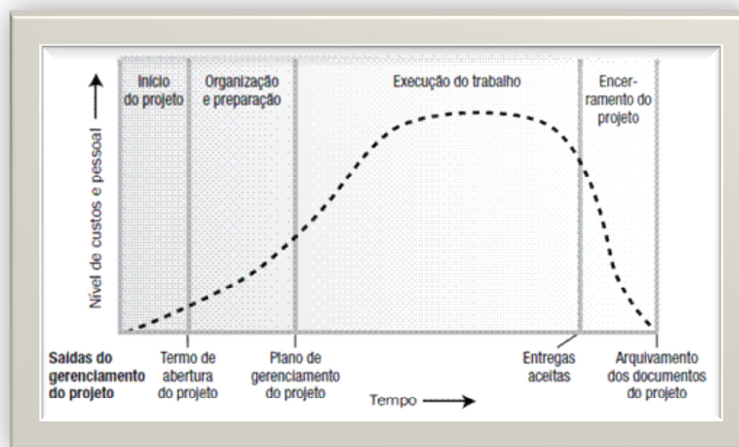


Figura 21 - Ciclo de vida de projetos (PMI, 2008)

Observando o gráfico da figura 21 com abordagem do ciclo de vida de um projeto é visível que no início do projeto o nível de recursos como custos e pessoal é baixo, tendo seu maior pico durante o detalhamento do projeto.

Utilizando o exemplo de um projeto de engenharia é normal que no início se caracterize com o envolvimento da área comercial com o gerenciamento para o fechamento do escopo da proposta. Uma vez fechada a proposta, já consolidada com os responsáveis das disciplinas pelo planejamento da equipe que irá compor os colaboradores envolvidos no projeto, inicia o processo de planejamento com cronograma, lista de entregáveis, normas de coordenação e etc. A Demanda de pessoal aumenta à medida que as informações são geradas obrigando a confecção dos entregáveis e consequentemente com a mobilização de um maior esforço culminado com o pico de recursos e consequentemente maiores custos. Com as entregas aceitas começa os fechamentos das atividades de planejamento e desmobilização do pessoal técnico.

A influência das partes interessadas, os riscos e as incertezas são maiores quando do início do projeto, reduzindo ao longo do desenvolvimento do projeto. Já a alteração de escopo de projeto ocorrida ao longo do empreendimento reflete o inverso.

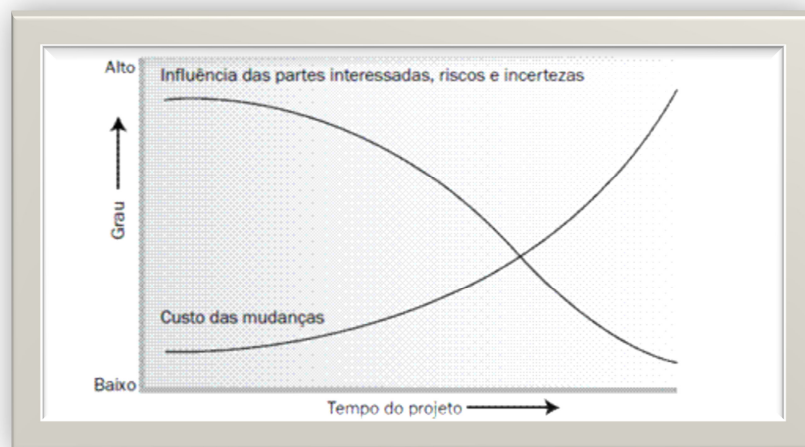


Figura 22 - Ciclo de vida de projetos (PMI, 2008)

O ciclo de vida de um projeto representado na figura 22 representa os custos com mudanças ao longo da vida do projeto, assim alterações no final do projeto se refletem em um grande impacto nos custos. Exemplificando a alteração do tipo do processo ao longo de sua elaboração da qual se decidiram que o processo que estava sendo estudado de úmido passaria a ser seco, obrigou-se a refazer todos os conceitos de processo acarretando um custo e prazos maiores devido a mudanças de conceitos e dos estudos já realizados. É importante ressaltar que o custo do projeto se elevou, mas os benefícios obtidos com a economia de equipamentos para a fase seca são de maior valor agregado.

Relação Benefício-Custo:

“As organizações tendem a não autorizar projetos cujos benefícios não superem seus custos. Benefícios podem ser considerados em termos financeiros ou não financeiros”. (Kerzner, 2001).

“O Valor para os acionistas talvez não envolva lucro, mas implica necessariamente na produção de resultados que, de algum modo, recuperem o custo explícito ou implícito do capital consumido pelo projeto” (Cohen e Graham, 2002).

A.7 – Sucessos e Fracasso na Gerência de Projetos

O sucesso e fracasso na gerência de projetos se baseiam na Tríplice Restrição (Prazo, Custo e Qualidade). Dependendo dos quesitos solicitados ao projeto eles variam na contribuição do peso para o seu sucesso ou fracasso. A ausência ou uso inadequado das práticas do gerenciamento de projetos pelas organizações contribui pelo resultado do processo.

Para Kerzner estes fundamentos foram citados em seus famosos postulados:

- ✓ “Não interessa se você executa um projeto muito bem ou muito mal, se você está trabalhando no projeto errado”.
- ✓ “Entregar um projeto dentro das restrições triplas não garante necessariamente que o projeto entregará valor ao negócio”.
- ✓ “Sucesso é quando se entrega valor real ao negócio”.
- ✓ “Valor agregado ao negócio é o que seu cliente reconhece como algo que vale a pena ser pago”.
- ✓ “Seguir fielmente um plano de projeto até a conclusão não é sinônimo de sucesso. Se mudanças relacionadas ao negócio forem necessárias, mas não implementadas”.

A Gartner Group aponta como falhas nos projetos em 70%;

- ✓ Prazos não realistas;
- ✓ Metas e objetivos mal estabelecidos ou não claros;
- ✓ Falta de entendimento das necessidades do cliente e das posições dos interessados;
- ✓ Falha no detalhamento do escopo;
- ✓ Estimativas de custos/orçamentos mal planejados;
- ✓ Processo de controle inadequado;
- ✓ Inabilidade na gerência de recursos humanos;

- ✓ Motivos externos da empresa que afetam diretamente o sucesso do projeto;

A.8 – Estruturas Organizacionais

Uma organização de projeto é uma estrutura temporária, alojada dentro da organização funcional. Dentro desta metodologia se destacam as seguintes estruturas;

Estrutura Projeto Funcional:

A execução é atribuída pelas atividades complementares a cada unidade funcional envolvida no projeto, sem uma coordenação central. Esta hierarquia faz com que cada funcionário tenha o superior bem definido. O Agrupamento é por especialistas.

Estrutura Matricial:

As atividades são executadas por unidades diversas contando, com algum tipo de coordenação;

Estrutura Projetizada:

Funciona como uma unidade autônoma cujo objetivo é finalizar o projeto. É geralmente um grupo de tarefas, integradas, juntas, em um mesmo local físico.

A.9 – Gerências Organizacionais por Projetos

A Gerência organizacional por projetos é dividida em projetos, programas e portfólio.

Recapitulando projeto é um esforço temporário realizado para criar um produto ou serviço exclusivo. Programa é um grupo de projetos associados, gerenciados de maneira coordenada para a obtenção de benefícios que não poderiam ser alcançados se gerenciados individualmente (Guia PMBOK 2008). Já segundo a SFPM 2006, Portfólio é uma coleção de projetos e/ou programas e/ou outras iniciativas, agrupados coletivamente de modo a facilitar o alcance de objetivos estratégicos.

O Projeto tem o foco no gerenciamento de escopo, custos, prazos e qualidades. O Programa tem foco no gerenciamento de benefícios, recursos, riscos e o portfólio no valor da carteira.

A.10 – Grupos de Processos

Os processos da gerência de projetos são agrupados de modo a dar orientação ao trabalho. Os grupos de processos não são fases de um projeto, mas interagem em uma fase ou em um projeto. Os grupos se destacam da seguinte estrutura:

A.10.1 - Processos de inicialização:

Autorização do projeto ou da fase. Define seus objetivos e seu escopo inicial, bem como nomeia o gerente de projeto e autoriza a mobilização de recursos para a serem aplicados nas atividades do projeto

A.10.2 - Processo de Planejamento:

Definição e refinamento dos objetivos e seleção da melhor alternativa de ação para alcançar os objetivos que o projeto estiver comprometido em atender. O planejamento abrange todas as áreas de conhecimento, sendo, portanto, o grupo de processos com maior número de componentes. Esse grupo de processo desenvolve o plano de gerenciamento e os documentos do projeto que serão usados para executá-lo. Para o PMBOK (PMI, 2008), esse grupo inclui os seguintes processos:

- ✓ Desenvolver o plano de gerenciamento do projeto;
- ✓ Coletar os requisitos;
- ✓ Definir o escopo;
- ✓ Criar a estrutura analítica do projeto (EAP);
- ✓ Definir as atividades;
- ✓ Sequenciar as atividades;
- ✓ Estimar os recursos das atividades;
- ✓ Estimar as durações das atividades;
- ✓ Desenvolver o cronograma;
- ✓ Estimar os custos;

- ✓ Determinar o orçamento;
- ✓ Planejar a qualidade;
- ✓ Desenvolver o plano de recursos humanos;
- ✓ Planejar as comunicações; planejar o gerenciamento dos riscos;
- ✓ Identificar os riscos;
- ✓ Realizar a análise qualitativa dos riscos;
- ✓ Realizar a análise quantitativa dos riscos;
- ✓ Planejar as respostas aos riscos
- ✓ E, por fim, planejar as aquisições.

A.10.3 - Processo de Execução:

Coordenar pessoas e outros recursos para atender o plano e, portanto tomar ações corretivas quando necessário.

A.10.4 - Monitoramento e Controle:

Processos com a linha de base definida, necessários à conferência dos resultados da execução do projeto identificando eventuais desvios e tomadas de ações corretivas e preventivas quando necessário (VALLE et al., 2007). Incluem os seguintes processos de gerenciamento de projetos: monitorar e controlar o trabalho do projeto; realizar o controle integrado de mudanças; verificar o escopo; controlar o escopo; controlar o cronograma; controlar os custos; realizar o controle da qualidade; reportar o desempenho; monitorar e controlar os riscos e administrar as aquisições.

A.10.5- Processo de Encerramento:

Formalizar a aceitação do projeto ou fase e encerrá-lo de uma forma organizada. É nesse momento que todas as informações do projeto são compiladas e armazenadas para referência em futuros projetos.

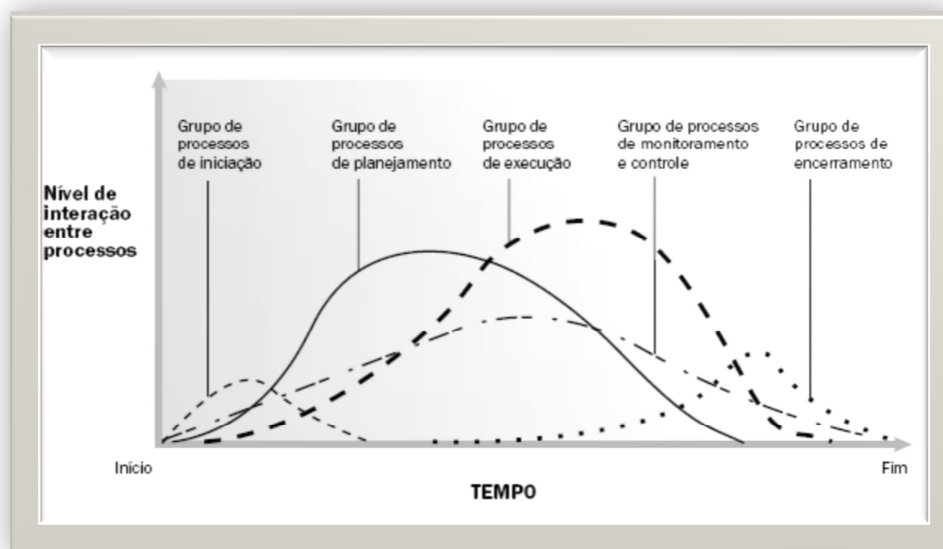


Figura 23 - Nível de interação entre processos. (FGV, 2012)

A.11 – Processos de Gerenciamento de Projetos

Estes processos se relacionam exclusivamente com a descrição, a organização e a conclusão do trabalho do projeto, sendo universais, controlam o ciclo de vida do gerenciamento de projetos. Os processos podem ser personalizados, modificados, ou até excluídos, para uma melhor composição do projeto.

De acordo com PMI 2008 “Um processo é um conjunto de ações e atividades inter-relacionadas, que são executadas para alcançar um produto ou serviço predefinido” e, cada processo é composto pelas entradas, ferramentas e técnicas aplicáveis e as saídas resultantes. As saídas (resultados) de um processo são as entradas para outro processo.

As áreas de conhecimento segundo o PMBOK definem 42 processos, mas para o sucesso de um projeto nem sempre são utilizados todos dependendo da necessidade. Cabe ao gerente saber discernir sobre a aplicabilidade em função do projeto estando eles integrados e alinhados uns aos outros

Todos os processos utilizados em um projeto são, ao longo do desenvolvimento do projeto, revistos e atualizados de acordo com as mudanças necessárias (HELDMAN, 2005).

A.11.1 – Áreas de Conhecimento em Gerência de Projetos

Além dos grupos de processos, já mencionados, o PMBOK classifica os processos que constituem cada grupo em nove áreas de conhecimento do gerenciamento de projetos. Cada área de conhecimento reúne processos que possuem características e temas semelhantes, beneficiando-se assim, dos conhecimentos específicos da área.

É fundamental que os processos envolvidos nas nove áreas de conhecimento estejam bem integrados para que os objetivos do projeto sejam alcançados.

A.11.1.1 - Gerenciamento da integração

Inclui os processos e atividades necessárias para identificar, definir, combinar e coordenar os vários processos e ativos dos grupos de processos de gerenciamento. A integração controla a coordenação dos processos nas para que a atividade seja realizada de forma completa e eficiente. Os processos do gerenciamento da integração (PMI, 2008):

- ✓ Desenvolver o termo de abertura do projeto (inicialização).
- ✓ Desenvolver o plano de gerenciamento do projeto (planejamento).
- ✓ Orientar e gerenciar a execução do projeto (execução).
- ✓ Monitorar o controlar o trabalho do projeto (monitoramento e controle).
- ✓ Realizar o controle integrado de mudanças (monitoramento e controle).
- ✓ Encerrar o projeto ou fase (fechamento).

A.11.1.2 - Gerenciamento do escopo

Engloba os processos necessários para garantir que o projeto inclua todo o trabalho necessário para ser completado com sucesso. (FGV, 2012). O escopo do produto se relaciona às especificações técnicas, de segurança, de desempenho, etc. do produto ou serviço do projeto e o escopo do projeto refere-se à administração da execução do projeto, envolvendo o plano de projeto (HELDMAN, 2005). Para (PMI, 2008):

- ✓ Coletar os requisitos (planejamento): levantamento das necessidades dos *stakeholders*.
- ✓ Definir o escopo (planejamento): descrição detalhada do produto e do projeto.
- ✓ Criar a EAP, Estrutura Analítica do Projeto, (planejamento): processo de subdivisão das entregas e do trabalho do projeto em componentes menores e mais facilmente gerenciáveis, definidos como pacotes de serviço.
- ✓ Verificar o escopo (monitoramento e controle): formalização das entregas terminadas do projeto, ou seja, assegura que as entregas foram finalizadas de acordo com os critérios de aceitação do cliente.
- ✓ Controlar o escopo (monitoramento e controle): monitorar e controlar o progresso do escopo do projeto e produto e gerenciar as mudanças realizadas na linha de base.

A.11.1.3 - Gerenciamento do tempo

Engloba os processos necessários para garantir o término pontual do projeto. Segundo Vargas (2007) essa é uma das áreas de conhecimento mais visíveis e desenvolvidas dentro do gerenciamento de projetos, pois, se um projeto atrasa praticamente todas as demais áreas sofrerão impactos negativos.

- ✓ Definir as atividades (planejamento)
- ✓ Sequenciar as atividades (planejamento)
- ✓ Estimar os recursos por atividades (planejamento)

- ✓ Desenvolver o cronograma (planejamento)
- ✓ Controlar o cronograma (monitoramento e controle)

A.11.1.4 - Gerenciamento dos Custos

Engloba os processos envolvidos em estimativas, orçamentos e controle de custos, de modo que o projeto possa ser terminado dentro do orçamento aprovado.

- ✓ Estimar custos (planejamento)
- ✓ Determinar o orçamento (planejamento)
- ✓ Controlar os custos (monitoramento e controle)

A.11.1.5 - Gerenciamento da Qualidade

Envolve os processos e as atividades da organização, executora que determinam a política de qualidade, os objetivos e as responsabilidades, de modo que o projeto satisfaça as necessidades para as quais foi empreendido. Inclui a gerência de qualidade do projeto e do produto do projeto:

- ✓ Planejar a qualidade (planejamento)
- ✓ Realizar a garantia da qualidade (execução)
- ✓ Realizar o controle da qualidade (monitoramento e controle)

A.11.1.6 - Gerenciamento das Comunicações

Envolve os processos necessários para assegurar que as informações sejam geradas, coletadas, distribuídas, armazenadas, recuperadas e organizadas de maneira oportuna e apropriadas:

- ✓ Identificar as partes interessadas (iniciação)
- ✓ Planejar as comunicações (planejamento)

- ✓ Distribuir as informações (execução)
- ✓ Gerenciar as expectativas das partes interessadas (monitoramento e controle)
- ✓ Reportar o desempenho (monitoramento e controle)

A.11.1.7 - Gerenciamento dos Recursos Humanos

Engloba os processos que organizam e gerenciam a equipe do projeto que inclui os seguintes processos:

- ✓ Desenvolver o plano de recursos humanos (planejamento)
- ✓ Mobilizar a equipe do projeto (execução)
- ✓ Desenvolver a equipe do projeto (execução).
- ✓ Gerenciar a equipe do projeto (monitoramento e controle).

A.11.1.8 - Gerenciamento dos Riscos

Envolve os processos de planejamento, identificação, análise, planejamento de respostas, monitoramento e controle de riscos de um projeto. Tem por objetivos aumentar a probabilidade e o impacto dos eventos positivos e reduzir a probabilidade e o impacto dos eventos negativos no projeto. É composto pelos seguintes processos:

- ✓ Planejamento do gerenciamento de riscos (planejamento)
- ✓ Identificação dos riscos (planejamento)
- ✓ Análise qualitativa de riscos (planejamento)
- ✓ Realizar a análise quantitativa de riscos (planejamento)
- ✓ Realizar a análise qualitativa de riscos (planejamento)
- ✓ Planejar as respostas aos riscos (planejamento)
- ✓ Monitorar e controlar os riscos (monitoramento e controle).

A.11.1.9 - Gerenciamento das Aquisições

Engloba os processos necessários para comprar ou adquirir produtos serviços ou resultados externos à equipe de projeto:

- ✓ Planejar as aquisições (planejamento)
- ✓ Conduzir as aquisições (execução)
- ✓ Administrar as aquisições (controle)
- ✓ Encerrar as aquisições (fechamento)

A.12 - Lições Aprendidas

Lição Aprendida é o conhecimento ou entendimento aprendido pela experiência. A experiência pode ser positiva ou negativa. Os sucessos são fontes de lições aprendidas. A Lição Aprendida deve ser:

- ✓ Significativa: ter um real ou presumível impacto sobre as operações;
- ✓ Válida: é efetivamente e tecnicamente correta;
- ✓ Aplicável: identifica uma atividade de engenharia específica ou um processo ou uma decisão que reforçaram um resultado positivo, ou que reduzem ou eliminam a possibilidade de falhas e percalços.

A Lição Aprendida é a validação de uma experiência profissional que:

- ✓ Quando aplicada, pode impactar positivamente os processos em uma organização;
- ✓ Fornece discernimento sobre a dinâmica dos projetos e questões técnicas que ajudam na execução de futuros projetos de forma eficaz e eficiente;
- ✓ Oferece oportunidade para os membros de a equipe compartilhar suas perspectivas de execução do projeto;

A lição aprendida deve incluir a descrição clara do assunto, a raiz da causa/problema ou oportunidade e a prevenção ou recomendação. Nos Bancos de Dados de Lições

Aprendidas nos projetos pode-se facilmente pesquisar as lições relacionadas a temas específicos, tipos de projeto, fases do projeto, e assim por diante.

Para preparar a reunião das Lições Aprendidas, todos os profissionais que participam são responsáveis por analisar os dados do projeto, tais como atas de reunião, relatórios técnicos, relatórios de auditoria ou de monitoramento.

Para nível de controle as Reuniões de Lições Apreendidas em função do tamanho do projeto e duração do projeto a frequência das reuniões de lições aprendidas deverão ser:

- ✓ Acima de 5.000 horas e mais de 12 meses uma reunião cada 12 meses.
- ✓ Menos de 5.000 horas entre 0 a 12 meses uma reunião no final do projeto cujo registro será parte integrante do relatório de conclusão do projeto.