

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DIEGO CLAUDIO MALDANER**

**MODELO PARA A ALOCAÇÃO DE TAREFAS NO AMBIENTE DE MÚLTIPLOS  
PROJETOS EM UMA EMPRESA FABRICANTE DE MÁQUINAS E  
EQUIPAMENTOS**

**BENTO GONÇALVES**

**2018**

**DIEGO CLAUDIO MALDANER**

**MODELO PARA A ALOCAÇÃO DE TAREFAS NO AMBIENTE DE MÚLTIPLOS  
PROJETOS EM UMA EMPRESA FABRICANTE DE MÁQUINAS E  
EQUIPAMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador Prof. Dr. Gabriel Vidor

**BENTO GONÇALVES**

**2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Universidade de Caxias do Sul  
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

M244m Maldaner, Diego Claudio

Modelo para a alocação de tarefas no ambiente de múltiplos projetos  
em uma empresa fabricante de máquinas e equipamentos / Diego  
Claudio Maldaner. – 2018.

70 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2018.

Orientação: Gabriel Vidor.

1. Administração de projetos. 2. Algoritmos genéticos. I. Vidor,  
Gabriel, orient. II. Título.

CDU 2. ed.: 005.53

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)  
Paula Fernanda Fedatto Leal - CRB 10/2291

**DIEGO CLAUDIO MALDANER**

**MODELO PARA A ALOCAÇÃO DE TAREFAS NO AMBIENTE DE MÚLTIPLOS  
PROJETOS EM UMA EMPRESA FABRICANTE DE MÁQUINAS E  
EQUIPAMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

**Aprovado em 12 de junho de 2018**

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Gabriel Vidor – Orientador  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. André Luis Korzenowski  
Universidade do Vale do Rio do Sinos – UNISINOS

Prof. Dr. Cíntia Paese Giacomello  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Leonardo Dagnino Chiwiacowsky  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

## RESUMO

A temática de gestão de projetos desperta a atenção de acadêmicos e práticos, visto que impacta diretamente na forma estratégica, tática e operacional de funcionamento de qualquer organização. Além disso, uma das áreas de estudos proeminentes nessa temática é a designação de tarefas em ambiente de múltiplos projetos. Nesse sentido, este trabalho investiga essa temática, partindo do objetivo de criar um modelo para a alocação de tarefas no ambiente de múltiplos projetos em uma empresa fabricante de máquinas e equipamentos. Para tanto, o trabalho focou o desenvolvimento de um modelo, em que a partir de um problema de designação desbalanceado aplica-se um Algoritmo Genético para otimizar a distribuição de tarefas. A criação e uso desse modelo permitiu simular um caso de aplicação durante um período de três meses e mensurar os impactos da sua adoção. O caso de análise mostrou que a ferramenta de designação, por meio de um Algoritmo Genético é eficiente, visto que garantiu uma alocação homogênea das tarefas reduzindo também o *lead time* de entrega das tarefas. Uma vez estabelecida a otimização da alocação das tarefas, verificou-se como estudos futuros a possibilidade de implementar um algoritmo de sequenciamento de tarefas.

**Palavras-chave:** Gerenciamento. Projetos. Designação.

## ABSTRACT

The theme of project management attracts the attention of academics and practitioners, since it directly impacts on the strategic, tactical and operational form of functioning of any organization. In addition, one of the areas of prominent studies in this area is the assignment of tasks in a multiproject environment. In this sense, this work investigates this theme, starting from the objective of creating a model for the allocation of tasks in the environment of multiple projects in a company that manufactures machines and equipments. For this, the work focused on the development of a phased model, in which from an unbalanced designation problem a genetic algorithm is applied to optimize the distribution of tasks. The creation and use of this model allowed us to simulate a case of application during a period and to measure the impacts of its adoption. The case of analysis showed that the designation tool, through a genetic algorithm, is efficient, since it guaranteed a homogeneous assignment of the tasks, reducing the delivery leadtime of the tasks of multiple projects. He verified as future studies the possibility of implementing a task sequencing algorithm, since task optimization is established.

**Keywords:** Management. Projects. Designation.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Responsabilidade organizacional e interrelações na alocação de recursos..... | 12 |
| Figura 2 – Indicador de status das tarefas .....  | 15 |
| Figura 3 – Grupos de processos do PMI.....  | 20 |
| Figura 4 – Integrações de grupos de processos em um projeto ou uma fase.....            | 21 |
| Figura 5 – Rede de tarefas e caminho crítico .....                                      | 24 |
| Figura 6 – Fluxograma algoritmo genético simples .....                                  | 30 |
| Figura 7 – Método do trabalho .....   | 33 |
| Figura 14 – Organograma da Engenharia de Aplicação.....                                 | 35 |
| Figura 8 – Macro fluxo do processo .....  | 36 |
| Figura 9 – Leiaute da planta de um cliente.....   | 36 |
| Figura 10 – Definição da data de entrega da engenharia.....                             | 37 |
| Figura 11 – Equipamentos × modelos × tipo de projeto .....                              | 38 |
| Figura 12 – Tipos de projetos × tempo necessário para sua realização.....               | 39 |
| Figura 13 – Tarefas × tipo de projeto .....   | 39 |
| Figura 15 – Número de tarefas e tempos totais dos recursos .....                        | 44 |
| Figura 16 – Gráfico de alocação de tarefas pelo coordenador .....                       | 45 |
| Figura 17 – Gráfico de alocação de tarefas pelo algoritmo genético .....                | 46 |
| Figura 18 – Tempos médios por recurso .....   | 48 |
| Figura 19 – Modelo de desenvolvimento de produto.....                                   | 49 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 – Matriz do RCMPSP .....  | 27 |
| Quadro 2 – Matriz de tarefas × tempos de recursos .....                                | 40 |
| Quadro 3 – Lista de tarefas para um equipamento .....                                  | 41 |
| Quadro 4 – Matriz de tarefas com datas de entrega × tempos de recursos.....            | 42 |
| Quadro 5 – Matriz de tarefas com data de entrega sequenciada × tempo de recursos ..... | 42 |
| Quadro 6 – Número e percentual de tarefas finalizadas no prazo e atrasadas.....        | 47 |
| Quadro 7 – Tarefas atrasadas alocadas manualmente .....                                | 47 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |   |
|--------|---|
| ABIMAQ | Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos           |
| AG     | Algoritmo Genético  |
| AGH    | Algoritmo Genético Híbrido  |
| BSI    | <i>British Standards Institution</i> / Instituição Britânica de Padrões |
| CLF    | Controlador de lógica fuzzy   |
| COM    | <i>Critical Path Method</i>   |
| CSF    | <i>Critical Success Factors</i>   |
| KPI    | <i>Key Performance Indicators</i> / Indicadores Chave de Desempenho     |
| PDP    | Planejamento e desenvolvimento de produtos                              |
| PERT   | <i>Project Evaluation and Review Technique</i>                          |
| PIB    | Produto interno bruto   |
| PMBok  | <i>Project Management Body of Knowledge</i>                             |
| PMI    | <i>Project Management Institut</i>                                      |
| RCMPSP | Problema de alocação com restrições de recursos em múltiplos projetos   |
| RCPSP  | Problema de alocação com restrições de recurso                          |

## SUMÁRIO

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>9</b>  |
| 1.1          | CONTEXTUALIZAÇÃO .....   | 11        |
| 1.2          | JUSTIFICATIVA .....  | 13        |
| <b>1.2.1</b> | <b>Justificativa teórica.....</b>  | <b>13</b> |
| <b>1.2.2</b> | <b>Justificativa prática .....</b>   | <b>15</b> |
| 1.3          | QUESTÃO DE PESQUISA .....  | 16        |
| 1.4          | OBJETIVOS .....  | 16        |
| <b>1.4.1</b> | <b>Objetivo geral.....</b>   | <b>17</b> |
| <b>1.4.2</b> | <b>Objetivos específicos.....</b>  | <b>17</b> |
| <b>2</b>     | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>   | <b>18</b> |
| 2.1          | GERENCIAMENTO DE PROJETOS .....  | 18        |
| 2.2          | GERENCIAMENTO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS .....   | 22        |
| 2.3          | ALOCAÇÃO E NIVELAMENTO DE RECURSOS.....  | 23        |
| 2.4          | PROBLEMA DE ALOCAÇÃO COM RESTRIÇÕES DE RECURSOS EM<br>(MÚLTIPLOS) PROJETOS: RCPSP e RCMPSP ..... | 25        |
| 2.5          | ALGORITMOS GENÉTICOS .....   | 28        |
| <b>3</b>     | <b>MÉTODO .....</b>  | <b>32</b> |
| 3.1          | Método de pesquisa .....   | 32        |
| 3.2          | Método de trabalho .....   | 32        |
| <b>4</b>     | <b>RESULTADOS .....</b>  | <b>35</b> |
| 4.1          | Descrição DOS EXPERIMENTOS e análise dos resultados .....  | 35        |
| 4.2          | Discussão dos resultados .....   | 50        |
| 4.3          | Implicações gerenciais.....  | 51        |
| <b>5</b>     | <b>CONCLUSÃO.....</b>  | <b>53</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O tempo exigido para o desenvolvimento ou lançamento de novos produtos é uma variável importante para as organizações (HERM, 2013; MAJAVA et al., 2013). Segundo Herm (2013), a busca pela melhor eficiência na qual novos produtos são construídos e disponibilizados para o mercado deve ser estratégico para as organizações. Uma dificuldade nesse processo é gerenciar a execução simultânea de um portfólio de projetos com restrições de tempo e de recurso. De fato, isso torna as habilidades de gerenciamento de projeto, principalmente a tarefa de alocação de recursos, crítica. (PENNYPACKER; DYE, 2002).

De acordo com Herroelen (2005), é muito comum ambientes que lidam com programação de múltiplos projetos oferecerem inúmeras oportunidades de pesquisas. Segundo o autor, nesses tipos de ambientes, uma pequena melhoria em sua gestão pode gerar um grande benefício no campo de gerenciamento de projetos, pelo fato de lidarem com simultaneidade.

O custo de projetos e avaliações de cronogramas tem sido estudados por décadas, e teve início com métodos clássicos como o PERT (*Project Evaluation and Review Technique*) e CPM (*Critical Path Method*), (MEREDITH; MANTEL, 2011). Porém, novas técnicas têm sido implementadas, e dentre elas, podem-se destacar a programação com restrições de recursos, nivelamento de recursos e avaliações probabilísticas de riscos.

O problema de alocação com restrições de recurso (RCPSP) apresenta uma extensão das técnicas padrões de CPM e PERT, porém incluindo a avaliação da disponibilidade dos recursos durante a alocação. Além disso, uma organização trabalha com projetos simultâneos e que dependem de um conjunto comum de recursos para sua execução. Um tema muito estudado na literatura, no que tange a projetos simultâneos, é a alocação de recursos (ENGWALL; JERBRANT, 2003). Esta extensão é conhecida como problema de alocação com restrições de recursos em múltiplos projetos (RCMPSP).

As abordagens de RCPSP e RCMPSP são problemas de otimização classificados como NP-Difícil, o que indica que não há algoritmos conhecidos para achar uma solução ótima em tempo polinomial (LENSTRA; RINNOOY KAN, 1978). Pesquisadores e práticos têm buscado desenvolver técnicas heurísticas ou meta-heurísticas para resolver esse tipo de problema. As heurísticas de regras prioritárias são heurísticas mais comuns consideradas para problemas grandes e são conhecidas por sua velocidade, simplicidade e capacidade de construir soluções iniciais (BROWNING; YASSINE, 2010). Todavia, as meta-heurísticas, tais como *Simulated*

*Annealing*, Busca Tabu, Algoritmos Genéticos (AG) e Otimização de Colônias de Formigas, também têm sido aplicadas com êxito nesse contexto (KOLISCH; HARTMANN, 2006).

Diante deste cenário, a interação entre as atividades de programação ou o retrabalho são um desafio para os gerentes de projetos. Segundo Kang e Hong (2009), os atrasos causados pela interação das atividades em um ambiente de múltiplos projetos são tão significativos quanto os resultantes da restrição de recursos de manufatura. De acordo com os autores, ainda que a ocorrência de interações possa não ser claramente conhecida antes da execução de um projeto, uma habilidade gerencial pode identificar muitas atividades potencialmente interativas, evitando os problemas quando um planejamento é realizado.

Dessa forma, o gerenciamento de projetos, na etapa de alocação de tarefas, mostra-se um campo de estudo nas organizações. De fato, a temática para esse estudo é proporcionar uma alternativa de solução ao problema de alocação de tarefas com restrições de recursos (pessoas) em múltiplos projetos, dentro do setor de engenharia em uma empresa. O trabalho é desenvolvido dentro da Mesal Máquinas e Tecnologia, uma empresa metalúrgica de porte médio de Bento Gonçalves. Dentro dos produtos ofertados, se destacam máquinas e equipamentos para o setor de alimentos, principalmente o de bebidas. A empresa trabalha com uma proposta de projetos altamente customizados, para tanto, conta com um setor de engenharia de produtos.

O trabalho está organizado em cinco capítulos. O Capítulo 1 apresenta a contextualização e justificativa do tema, evidenciando a relevância do tema proposto bem como trabalhos referenciais relacionados ao assunto. São apresentados também a questão de pesquisa, o objetivo geral e os específicos. O Capítulo 2 traz o referencial teórico por meio de uma revisão bibliográfica acerca dos temas que estão sendo propostos na construção para a realização do trabalho.

O terceiro capítulo aborda o método de trabalho, onde de maneira detalhada se expõem a execução do estudo. O Capítulo 4 traz a descrição e análise do estudo de caso, com o objetivo de evidenciar os resultados alcançados. Ainda no Capítulo 4, uma seção de implicações gerenciais mostra onde a adoção do método em estudo impacta para a empresa em questão, bem como uma comparação dos resultados com a literatura.

O trabalho é finalizado no Capítulo 5 por meio das conclusões, onde se busca resumir aquilo que foi proposto no trabalho, para em seguida analisar se, de fato, todos os objetivos foram atingidos. Além disso, possíveis estudos futuros acerca do tema proposto são apresentados.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Dados do *Project Management Institut* (PMI) e da *Economist Intelligence Unit* mostram que que cerca de 15 trilhões de dólares são empregados em projetos anualmente, o que significa cerca de 25% de toda a economia mundial que é aproximadamente de 85 trilhões de dólares (VARGAS, 2016). Ainda segundo o autor, 15,7 milhões de funções estão relacionadas ao gerenciamento de projetos em sete ramos da indústria (manufatura, serviços, finanças, petróleo e gás, tecnologia da informação, construção e utilidades).

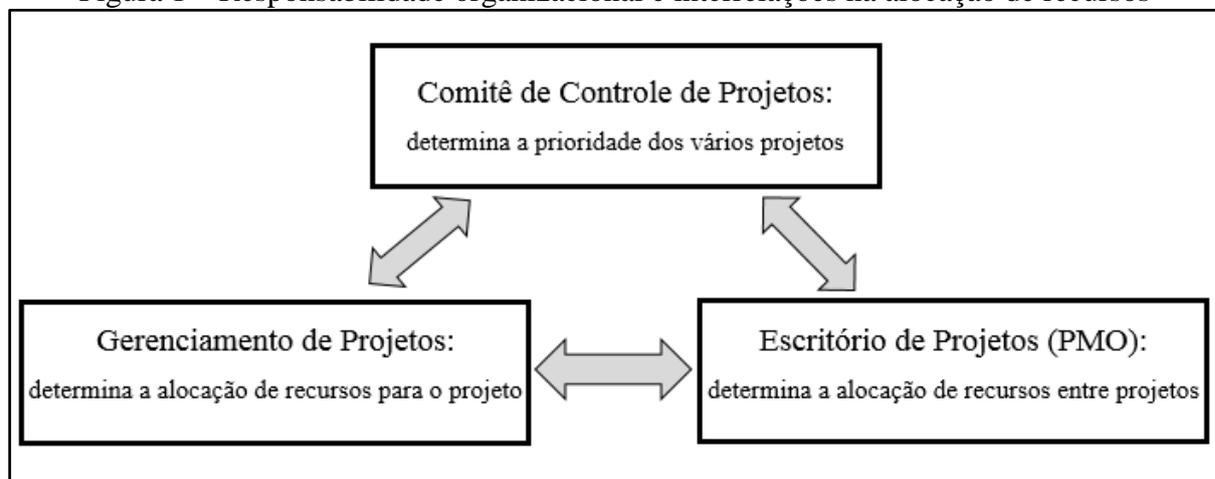
Uma vez que as atividades para um determinado projeto estejam delineadas em sua ordem lógica de execução, faz-se necessário a identificação dos recursos para a execução dessas atividades, bem como a maneira de melhor utilizá-los. Porém, os guias disponíveis para os gerentes de projetos não fornecem indicações claras ou métodos para isto. O PMI (2013) por exemplo, evidencia apenas que a estimativa de recursos nas atividades é um processo que serve para prever a quantidade de material, recursos humanos, equipamentos e suprimentos para garantir a adequada realização das atividades, com o objetivo de estimar os custos e a duração de um projeto com maior precisão. Nesse sentido, surge a necessidade da adoção de um modelo para a alocação de tarefas em ambientes de múltiplos projetos para uma empresa fabricante de máquinas e equipamentos.

Atualmente, existem no mercado diversos softwares que são utilizados para a gestão de projetos e dentre os mais conhecidos pode-se citar o Microsoft Project© e o Primavera P6 da Oracle©. Dentre as funcionalidades de tais softwares está a alocação e nivelamentos dos recursos. Tradicionalmente, esses pacotes de software usam algoritmos baseados em priorização de tarefas que serão executadas para alocação e nivelamento dos recursos, porém não oferecem maiores detalhes da programação ou as regras de prioridades desses algoritmos (KASTOR; SIRAKOULIS, 2009).

Autores como Hegazy & Menezi (2010) afirmam que a lacuna existente entre os métodos tradicionais para apoio à decisão na alocação de recursos como o CPM, tornam difícil a adoção de medidas corretivas nos projetos na recuperação de atrasos nas atividades, e autores como Chen et al. (2012) corroboram dessa ideia e complementam que tais métodos resultam em um estilo de gerenciamento acomodado ao invés de um processo para tomar decisões baseado em dados reais existentes. Ainda, Yang e Fu (2014) sugerem que a tomada de decisão na alocação de recursos em ambientes com múltiplos projetos seja feita baseada em um comitê

de priorização de projetos, através de uma constante negociação com os gerentes de projetos ou escritório de projetos, conforme detalhado na Figura 1.

Figura 1 – Responsabilidade organizacional e interrelações na alocação de recursos



Fonte: Adaptado de Yang e Fu (2014)

De acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ), no ano de 2016, apesar do setor apresentar o pior desempenho desde o levantamento histórico em 1999, encerrou o ano com uma receita de 66,3 bilhões de reais, o que corresponde a aproximadamente 4,5% do produto interno bruto (PIB) brasileiro. Esse valor representa apenas 54,4% da receita do ano de 2012 e essa queda deixa evidente que a aparente retomada da confiança não foi suficiente para impulsionar investimentos. Ainda segundo dados da associação, o número de pessoas ocupadas na indústria de máquinas e equipamentos encerrou o ano de 2016 em 290,6 mil, mesmo nível do ano de 2004 e, desde o ano de 2013 quando se iniciou a queda de faturamento da indústria, já foram eliminados 81,4 mil postos de trabalho. Logo, dado a representatividade do setor perante a economia brasileira e diante do cenário adverso, estudos nessa área são necessários.

Dada a relevância do setor metal mecânico no cenário nacional e a dificuldade no processo de automatização de alocação de tarefas, torna-se necessário a adoção de métodos para o gerenciamento dos projetos, gerando ganhos em relação a custo, qualidade e tempo. O que se percebe é que poucas empresas, de fato, investem em seus processos de gerenciamento de projeto, apesar do baixo custo inicial e do grande impacto que o mesmo causa na entrega final. Essencialmente, isso se deve ao fato dos tradicionais métodos empregados, ou softwares existentes, não atenderem as expectativas e as necessidades das empresas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Nessa seção é apresentado a justificativa teórica, ou seja, a necessidade de estudo nesse campo, bem com a justificativa prática, evidenciando o problema tratado na empresa em estudo.

### 1.2.1 Justificativa teórica

Em empresas que trabalham sob a perspectiva de gerenciamento de múltiplos projetos, uma das etapas críticas para o processo de desenvolvimento de produto se dá na distribuição e alocação de tarefas aos recursos (projetistas, detalhistas). A distribuição de tarefas deve levar em consideração as características de cada recurso, ou seja, se o mesmo está apto ou não a realizar determinada tarefa, bem como o tempo que o mesmo necessitará para o desenvolvimento dessa tarefa.

O processo de alocação de tarefas no cotidiano das organizações, bem como o tempo necessário para a execução de cada uma delas, é definido pela experiência da pessoa responsável por essa alocação (um coordenador, por exemplo), ou ainda, pelas informações provenientes do próprio recurso (por exemplo, um engenheiro que determina sua carga de trabalho). Nesse formato a alocação de tarefas não é otimizada, pois recursos podem ficar subdimensionados ou superdimensionados.

Este fato faz com que pesquisadores e profissionais da indústria atentem para o planejamento de projeto, principalmente em relação às atividades, sua ordem, programação, cronograma e recursos necessários (BRUCKER et al. 1999). Ainda segundo os autores, dada a escassez de recursos, tanto em pequenas como em grandes organizações, o planejamento das tarefas deve considerar a distribuição dos recursos no tempo e as dependências entre as atividades. Os autores afirmam também que planejamento de projetos é um campo atrativo em função de que modelos nesta área são ricos em problemas de otimização.

Ngo e Ruhe (2009) investigaram a alocação de recursos para tarefas em projetos de desenvolvimento de software, de modo que o valor obtido com a liberação futura seja maximizado. Os autores usaram uma abordagem de modelagem linear inteira para determinar a combinação ótima de características em uma primeira fase, e em uma segunda fase, uma meta-heurística para desenvolver planos de recursos adequados para a estratégia criada na primeira fase. É importante ressaltar que no caso mencionado, o modelo inteiro foi limitado a 200 recursos e 600 tarefas. Sendo assim, é possível que para realidades industriais mais complexas, as restrições de tamanho podem limitar a aplicabilidade dessa abordagem.

Moellmann (2013) em sua tese de doutorado, apresentou uma proposta de modelo para gerenciamento em ambientes com múltiplos projetos simultâneos, baseado no método da corrente crítica, demonstrando também como seus princípios podem ser contemplados junto às premissas do processo de desenvolvimento de produto enxuto, tanto no planejamento, quanto na gestão de portfólio de projetos. O método se deu pela priorização e sequenciamento entre os projetos na fase de planejamento do portfólio, nivelando os recursos restritivos e estratégicos da organização, no intuito de minimizar a sobrecarga dos recursos do sistema, com a consequente redução dos desperdícios e das variabilidades durante o processo de desenvolvimento. O autor emprega a Simulação de Monte Carlo, a fim de demonstrar quantitativamente os resultados da solução da corrente crítica.

Os autores Rodrigues, Vieira e Agustini (2005) abordam o problema de alocação de tarefas a recursos, trazendo à tona que uma das maiores dificuldades enfrentadas nas empresas é identificar qual indivíduo pode executar determinada atividade de forma otimizada. Sendo assim, apresentam como método a essa problemática, um algoritmo de otimização para a ajuda na tomada de decisão ao problema de alocação de tarefas através da análise de dados cruzados. O algoritmo é chamado de Método Húngaro e tem como princípio partir de uma matriz de custos, além de informações restritivas para estabelecer uma resposta ao problema. Entre os exemplos da aplicação do algoritmo, explorados pelos autores, está a alocação de escavadeiras em obras, onde cada uma possui um custo de alocação associado, com o objetivo de se obter o menor custo. Outro exemplo citado pelos autores está em escolher entre quatro propostas de vendas de moedas raras, qual delas gerará maior lucro. Por fim, traz outro exemplo de jogadores de futebol com a disponibilidade para jogar em nove posições, a fim de ajudar o técnico a obter qual o melhor rendimento da equipe.

Já os autores Celkevicius e Biancolino (2015) afirmam que os principais grupos de algoritmos usados para satisfazer as exigências atuais das organizações são os algoritmos heurísticos e os genéticos. Tais algoritmos visam ao apoio a tomada de decisão dos gestores, no que diz respeito à maximização do valor presente líquido, à minimização de prazos e custos, à otimização no uso dos recursos dentro das restrições de prazos, bem como soluções imediatistas para restrições de prazos e custos, além das incertezas e riscos nas alocações e nivelamentos de recursos. Essa dinâmica se atende com o uso de recursos computacionais diversos e pode-se utilizar as ferramentas de software conhecidas no mercado como Microsoft Project© e o Primavera P6 da Oracle©.

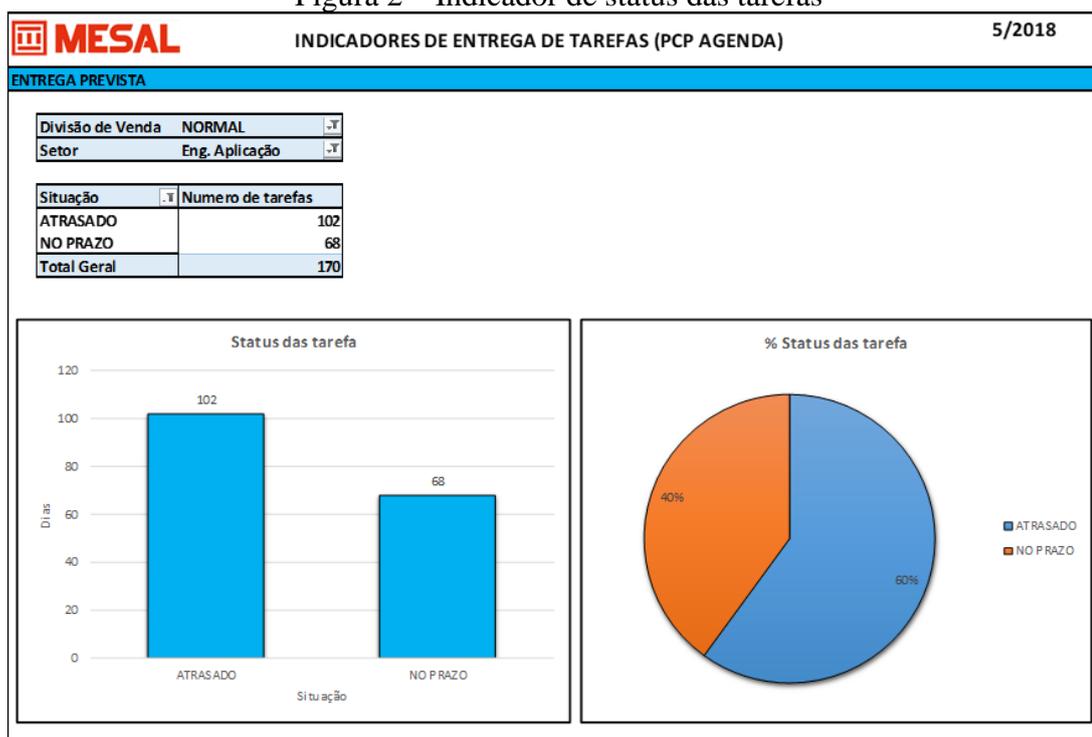
Os exemplos dos autores citados anteriormente corroboram com a ideia da aplicação de uma lógica de otimização, desenvolvida com base em um algoritmo, para operacionalização da alocação de tarefas para os recursos no desenvolvimento de projetos. O estudo desse trabalho é realizado no setor de Engenharia de Aplicação, delimitando-se às fases de aprovação e detalhamento de projetos.

### 1.2.2 Justificativa prática

Na empresa onde será aplicado o estudo, os prazos para efetivação de um pedido de venda não condizem com o que é realizado. Efetivamente, na etapa de desenvolvimento de produto, mais especificamente no setor de engenharia de aplicação, os tempos para realização das atividades são maiores do que os estabelecidos pela área comercial, o que torna o setor um gargalo para a empresa.

Na prática, o gerenciamento do projeto não é adequado, muito em função da ineficácia na alocação das tarefas para determinados recursos, ocorrendo perdas no processo e, conseqüentemente, o comprometimento dos prazos de entrega e o aumento do custo final do produto. A Figura 2 mostra os indicadores de desempenho, evidenciando os problemas de atraso nas tarefas.

Figura 2 – Indicador de status das tarefas



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Verifica-se que no dia atual, no caso mês 05 de 2018, o setor de engenharia de aplicação conta com 170 tarefas em andamento, dentro das quais, 102 (60%) estão com sua situação em atraso e 68 (40%) tarefas estão dentro do prazo pré-determinado. Na prática, isso evidencia os problemas da empresa e a necessidade de intervenção.

### 1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

Desde os anos de 1980, acadêmicos e profissionais chegaram à conclusão de que a gestão dos recursos é um dos elementos mais críticos para o sucesso de uma organização e conseqüentemente de seus projetos (BELOUT; GAUVREAU, 2004). Ainda segundo os autores, os projetos requerem uma atenção especial para uma variedade de recursos humanos, além de orçamento e itens técnicos que geralmente possuem características próprias, tal como a limitação do orçamento, o prazo e a qualidade, em uma série de atividades que são inter-relacionadas.

De acordo com Huang et al. (2011), um aspecto de muita relevância no que diz respeito a restrições de prazos e custos de projetos está relacionado ao nivelamento dos recursos para os quais as tarefas estão alocadas. Tais recursos precisam estar alocados dentro de certos padrões de trabalho, como por exemplo um ciclo de oito horas por dia, sendo que um nivelamento adequado gerará um menor custo para o projeto, através da redução da ociosidade ou o pagamento de horas extras desnecessárias. É função do gerente de projetos ou demais gestores dos recursos humanos a alocação dos recursos disponíveis, bem como a consideração de férias, folga, horas extras ou períodos de compensações possíveis, sempre tendo em mente que o objetivo é a realização de um nivelamento correto e adequado.

Dessa forma, a questão de pesquisa desse trabalho é: Qual o modelo a ser adotado na alocação de tarefas em um cenário de múltiplos projetos de modo a garantir o cumprimento de prazo e uso nivelado dos recursos?

### 1.4 OBJETIVOS

Nessa seção, são apresentados os objetivos geral e específico do trabalho.

### **1.4.1 Objetivo geral**

O objetivo do trabalho é desenvolver um modelo para a alocação de tarefas no ambiente de múltiplos projetos em uma empresa fabricante de máquinas e equipamentos.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

Do objetivo geral, derivam-se os seguintes objetivos específicos:

- a) tarefas em partes gerenciáveis, para diferentes famílias de equipamentos;
- b) tempos de desenvolvimento das tarefas de cada recurso, para cada família de equipamento;
- c) algoritmo de otimização levando em consideração restrições de prazo de entrega e nivelamento no uso dos recursos disponíveis;
- d) comparar os cenários por meio de indicadores de desempenho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são levantados conceitos referentes à temática de estudo, a fim de dar sustentação teórica ao desenvolvimento do método de trabalho e seus resultados.

### 2.1 GERENCIAMENTO DE PROJETOS

Para o entendimento de gerenciamento de projetos, se faz necessário primeiramente o entendimento da definição de projeto. O PMI define um projeto como um empreendimento temporário realizado para criar um resultado único e com fim definido, quando os objetivos são alcançados ou mesmo quando tais objetivos sejam impossíveis de serem alcançados (PMI, 2013). A *British Standards Institution* (BSI), define projeto como sendo um processo com um conjunto de atividades controladas, com datas de início e término, com restrições de recursos e tempo (BSI, 2000).

De acordo com o PMI (2013), o gerenciamento de projetos é a aplicação de um conjunto de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas sobre o desenvolvimento de um determinado produto ou serviço, a fim de garantir os requisitos deste projeto. O PMI desenvolveu uma base de conhecimento denominada *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK), que possui um conjunto das melhores práticas a serem usadas para o gerenciamento de projetos.

As práticas de gerenciamento de projetos devem estar relacionadas ao escopo, qualidade, cronograma, orçamento, recursos e riscos, porém não estão limitadas somente a estas. Todas essas práticas, são dependentemente inter-relacionadas, ou seja, se algo muda, pelo menos alguma delas será afetada (PMI, 2013). O PMBoK afirma por exemplo que se o cronograma de um projeto for encurtado, o orçamento precisa ser aumentado a fim de alocar recursos adicionais. Da mesma forma, caso o escopo seja alterado, possivelmente os riscos também o serão, criando ou alterando a gravidade ou probabilidade dos riscos existentes. Lester (2014) afirma que os objetivos do projeto devem atender a três critérios fundamentais: conclusão dentro do prazo estipulado; a conclusão dentro do orçamento estimado; e ainda a conformidade dos requisitos de qualidade.

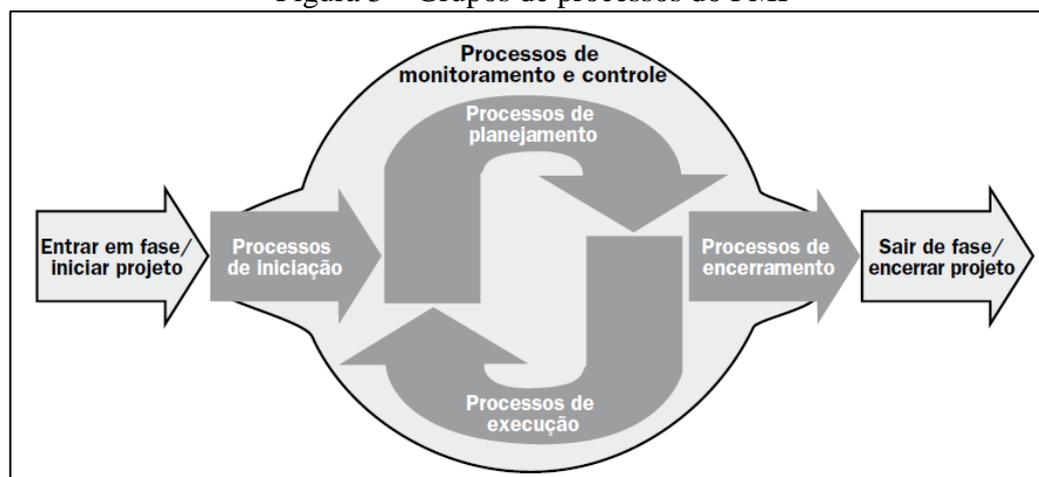
Todavia, bem como as técnicas de gerenciamento de projetos, os critérios de sucesso de projetos, também conhecidos como *Critical Success Factors* (CSF), podem variar de acordo com os objetivos da organização ou a forma de como o projeto é abordado. Os principais ou os primeiros objetivos estabelecidos para um projeto definem quais as preocupações ou critérios

devem ser satisfeitos para atingir os critérios de sucesso do projeto. Geralmente, todos os objetivos propostos para o projeto devem ser atingidos para que um projeto possa ser considerado completo, no entanto, um projeto só pode ser considerado bem-sucedido caso os objetivos primários, pelo menos, forem alcançados, quando os objetivos secundários são inviáveis. Como exemplo, pode-se citar um projeto de engenharia civil que precisa ser inaugurado em determinado dia, mesmo que não haja os acabamentos concluídos. Nessas situações, o custo e uma parte do escopo tiveram que ser sacrificados a fim de satisfazer a restrição de tempo e tais objetivos podem ser concluídos mais tarde (LESTER, 2014).

Muitos autores têm pesquisado os fatores que levam um projeto ao sucesso, buscando focar as práticas do gerenciamento de projetos (COOKE-DAVIES, 2002). De acordo com Mir e Pinnington (2014), o desempenho do gerenciamento de projetos e a equipe de projetos são as variáveis mais significativas com relação à contribuição do sucesso no gerenciamento de projetos. Ainda, segundo os autores, a mensuração do desempenho do gerenciamento de projetos é uma forma de avaliar a eficácia das práticas e técnicas de gestão, e os indicadores utilizados para avaliar as medições chamados de *Key Performance Indicators* (KPI). O KPI pode ser uma parte específica de um determinado projeto, como por exemplo um marco, ou determinado produto, e pode ser uma métrica subjetiva (LESTER, 2014). Em resumo, os critérios de sucesso de um projeto ou os fatores de sucesso crítico, abordam a medida dos resultados experimentados pelo cliente, enquanto os KPIs abordam a medição da qualidade do processo no intuito de buscar os resultados desejados, ou seja, para a equipe de gerenciamento de projetos e o time de projetos (KERZNER et al., 2010). Para tratar a questão de gerenciamento de processos em projetos, na sequência a temática é discutida detalhadamente nessa seção.

Segundo o PMI (2013), a execução de práticas de gerenciamento de projetos para alcançar o sucesso do projeto, através de critérios de sucesso determinados, requer processos concretos e sistemáticos. Neste contexto, processo pode ser definido como um conjunto de atividades realizadas para alcançar um estágio especificado da execução do projeto, sendo que os processos podem sofrer alterações de acordo com cada contexto de projeto ou ambiente empresarial. O PMBoK reconhece 47 processos envolvidos nesse ciclo de vida, dentre os quais se enquadram 5 grupos de processos (iniciação, planejamento, execução, monitoramento e controle, e encerramento). Tais processos estão interligados e podem ter aspectos interativos, repetindo ao longo do projeto ou em cada uma de suas fases, conforme pode ser verificado na Figura 3.

Figura 3 – Grupos de processos do PMI



Fonte: PMI (2013)

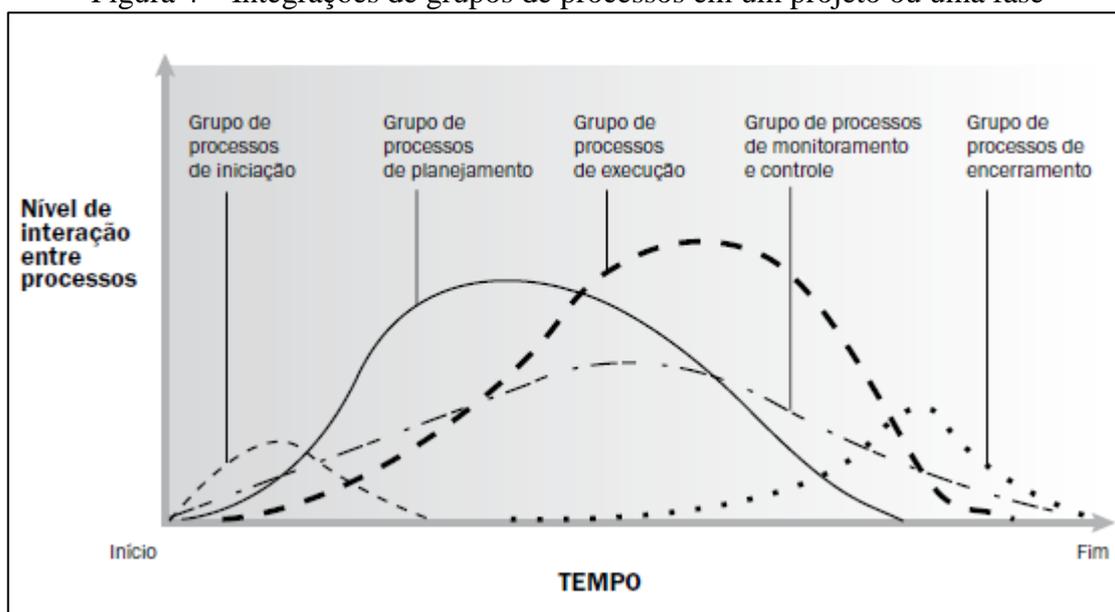
O detalhamento das atividades realizadas de acordo com cada grupo de processos, conforme PMI (2013), está apresentado a seguir:

- a) **iniciação:** inclui processos realizados para definir um novo projeto ou uma nova fase de um projeto existente. O escopo inicial e os recursos financeiros são definidos e comprometidos, bem como as partes interessadas internas e externas, e é definido o gerente de projeto, caso não haja ainda essa definição. Também são definidos os critérios de sucesso do projeto;
- b) **planejamento:** inclui processos realizados para estabelecer o escopo total, definir e aprimorar os objetivos, além de desenvolver as ações necessárias para atingir tais objetivos, incluindo estratégias e táticas para concluir com sucesso o projeto ou a fase;
- c) **execução:** inclui processos realizados para concluir o trabalho definido no plano de gerenciamento do projeto, para satisfazer as especificações do projeto. Envolve atividades como coordenação de pessoas e recursos e gerenciamento das expectativas dos “stakeholders” (partes interessadas);
- d) **monitoramento e controle:** inclui processos realizados para rastrear, analisar e orquestrar o progresso e desempenho do projeto, além de identificar qualquer área em que as mudanças no plano são necessárias. Isso permite identificar áreas que requerem atenção adicional pelo gerente;
- e) **fechamento:** inclui processos realizados para concluir todas as atividades iniciadas do projeto. As seguintes atividades podem ser executadas: obtenção da aceitação do projeto pelo cliente; documentação das lições aprendidas; aplicação das atualizações aos ativos do processo organizacional; arquivamento dos artefatos

relevantes ao projeto; encerramento das atividades de compras; avaliações dos membros da equipe; e a liberação dos recursos do projeto.

Estes cinco grupos de processos não são mutuamente exclusivos, inclusive há uma grande interseção entre eles durante o curso do projeto. A Figura 4 mostra possíveis aplicações de todos os grupos de processos durante a realização de um projeto e sua sobreposição.

Figura 4 – Integrações de grupos de processos em um projeto ou uma fase



Fonte: PMI (2013)

Para um completo e bem-sucedido gerenciamento de projetos, se faz necessário lidar com diferentes campos da administração de uma organização, diferentes profissionais e até mesmo diferentes áreas de especialização (PMI, 2013). Sendo assim, o PMBoK divide suas práticas de gerenciamento de projetos em dez áreas de conhecimento: integração; escopo; tempo; custo; qualidade; recursos humanos; comunicação; risco; aquisição; e as partes interessadas. Cada área de conhecimento apresenta uma série de conceitos, termos, atividades, ferramentas e técnicas que devem ser corretamente utilizadas para um gerenciamento de projetos eficaz. Cada grupo do processo de gerenciamento de projetos pode envolver uma ou mais áreas de conhecimentos, dependendo de suas características e necessidades, bem como o ciclo de vida em que o projeto se encontra.

Segundo Badewi (2015), as empresas podem colher benefícios através da administração de projetos por meio do aumento da eficiência do esforço humano nas organizações. Autores como Joslin e Müller (2015), complementam ainda que o sucesso dos projetos está atrelado ao modo como são gerenciados, sendo que é fundamental entender que o

sucesso está atrelado em quão é eficiente a gestão em curto prazo e aos resultados esperados a longo prazo. Ainda segundo os autores, uma gestão de projetos eficiente deve ser composta por metodologias e ferramentas que auxiliem os projetos no intuito de torná-los previsíveis.

## 2.2 GERENCIAMENTO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS

De acordo com Dinsmore e Brewin (2009), o gerenciamento de portfólio de projetos consiste em um conjunto de processos com a finalidade de possibilitar a análise, autorização, recomendação, a agilidade e o monitoramento dos projetos com o intuito de atender os objetivos organizacionais. Dentre os objetivos do gerenciamento de portfólio, estão as obtenções dos meios para selecionar a carteira ideal, a gestão dos recursos de maneira corporativa, a melhoria da visibilidade e gestão dos empreendimentos da organização e a obtenção de informações para a tomada de decisões (BARCAUI, 2012).

Embora o fato de o gerenciamento de portfólio possuir relação com projetos, seu objetivo é bastante distinto. Almeida (2011) considera portfólio como sendo um conjunto de projetos, programas ou outras iniciativas que são agrupadas com o intuito de promover uma gestão mais eficaz para o atendimento dos objetivos estratégicos de uma organização. Ainda segundo o autor, uma característica distinta é o fato de o gerenciamento de portfólio não ser temporal, como no caso de projetos ou programas.

Outra característica se deve ao fato de a permanência do portfólio estar relacionada ao conjunto de projetos que o compõem, independente do estado em que esses projetos se encontram, pois, de acordo com Kendall e Rollins (2003), o portfólio de projetos representa todo o trabalho de um certo período de tempo, sejam de projetos ativos, projetos pendentes, não iniciados, ou ainda projetos concluídos e cancelados. Através do gerenciamento de portfólio, torna-se possível identificar as dependências e precedências entre os projetos. Sendo assim, de acordo com Dinsmore e Brewin (2009), a gestão do portfólio de projetos proporciona benefícios como por exemplo a conclusão de projetos com maior agilidade, o aumento significativo do número de projetos com o uso do mesmo recurso, a redução dos projetos e o consequente aumento no índice de sucesso.

Quanto ao ambiente empresarial, geralmente empresas que trabalham sob a ótica de múltiplos projetos atuam com uma estrutura matricial, ou seja, com características híbridas presentes tanto em estruturas funcionais (especialidades ou áreas) bem como em estruturas projetizadas (equipes dedicadas por projetos) (DAVIDOVITCH; PARUSH; SHTUB, 2010). É

característica comum desse tipo de organização, de acordo com Dombrowski e Zahn (2011), os líderes de projeto organizarem os planos de atividades e cronogramas com os gerentes de recursos, bem como os custos associados a cada departamento, criando uma cultura de controle e planejamento baseada em responsabilidade.

Segundo Danilovic e Sandkull (2005), o gerenciamento de projetos em organizações matriciais é em geral de natureza complexa, principalmente pelo fato de haver a necessidade do compartilhamento dos recursos da organização (humanos, tecnológicos, orçamentários, fornecedores), dentre os vários projetos de um portfólio, o que torna a cooperação entre os gerentes de projetos um fator crítico para o sucesso. Os gerentes de projeto que atuam em empresas organizadas matricialmente, necessitam atuar ao mesmo tempo em dois níveis de poder: a divisão funcional (onde predomina a disputa direta por recursos especialistas) e a divisão projetizada (onde predominam a prioridade e a importância entre os projetos ativos). Esse fato contribui significativamente a uma maior complexidade em ambientes multiprojetos (DAVIDOVITCH; PARUSH; SHTUB, 2010).

Como complemento, Jung e Kang (2007) verificam em ambientes multiprojetos uma lacuna de padronização dos métodos e processos empregados por diferentes organizações, sendo que, em empresas onde métodos e processos se fazem existentes, carecem de meios efetivos de modelagem, bem como análise e otimização do uso dos recursos para múltiplos projetos. Tal situação se justifica visto à ênfase das empresas ser, de modo geral, ambientes monoprojetos e à consequente dificuldade em perceber ou reconhecer que o fato principal em termos do baixo desempenho dos projetos se dar com relação aos aspectos restritivos da gestão dos recursos em ambientes multiprojetos.

### 2.3 ALOCAÇÃO E NIVELAMENTO DE RECURSOS

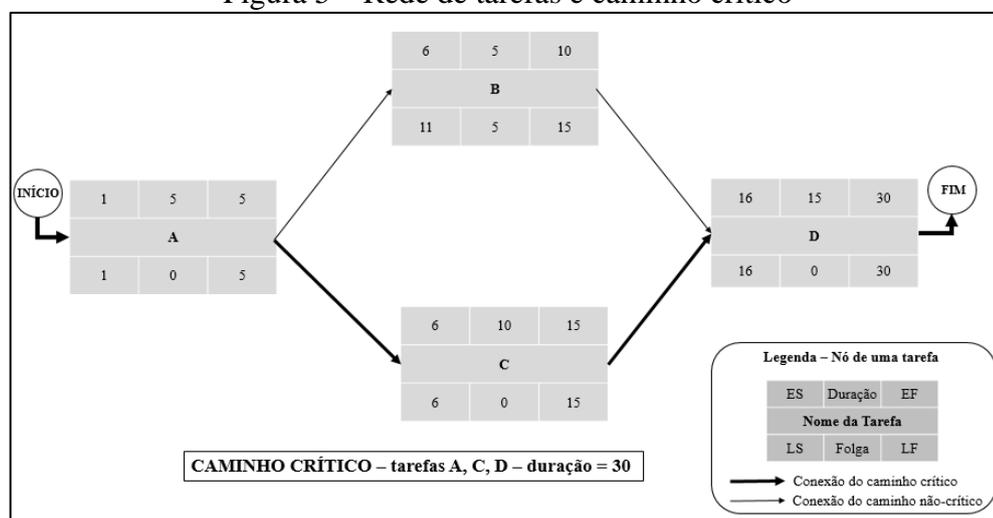
Segundo o PMI (2013), a programação de determinado projeto (*schedule*) inclui datas do planejamento do início ao fim de cada atividade do projeto. A programação permanece em estado preliminar até que a associação entre os recursos e as tarefas tenham sido confirmados. Esta associação é denominada alocação de recursos. Também o PMI (2013) conceitua como sendo o nivelamento dos recursos uma técnica na qual haja o ajuste de datas de início e fim de atividades para determinado projeto, levando em consideração as restrições dos recursos existentes, tendo como objetivo balancear a demanda dos recursos e sua disponibilidade. O PMI (2013) também afirma que o nivelamento de recursos pode ser usado quando recursos

requeridos são compartilhados, quando estão disponíveis em apenas certos momentos, quando os recursos são escassos ou estão sobre alocados.

Ao se tratar de cronogramas de projetos, métodos clássicos como PERT e CPM auxiliam nos cálculos de estimativas de duração das tarefas bem como qual o melhor tempo para a execução do projeto, porém não endereçam a alocação de recursos. De acordo com Schwalbe (2013), o PERT é uma técnica a ser usada para estimar durações de tarefas no projeto ao existir um alto grau de incerteza com a duração dessas atividades, visto que usa uma abordagem estatística de estimativas pessimistas, otimistas e mais prováveis, para então se ter uma probabilidade do atingimento dos prazos dos projetos. Já o CPM ou método do caminho crítico, de acordo com o PMI (2013), é um método usado na estimativa da duração mínima de um projeto a fim de determinar a folga necessária ao cronograma do projeto, levando em consideração uma rede lógica de atividades do projeto.

A técnica de análise da rede de falhas calcula o mais cedo que uma tarefa pode começar (ES-*early start*), o mais cedo que uma tarefa pode terminar (EF-*early finish*), o mais tarde que uma tarefa pode começar (LS-*late start*) e também o mais tarde que uma tarefa pode terminar (LF-*late finish*). Na Figura 5, verifica-se um diagrama de tarefas no formato PDM (*precedence diagram method*), ou método do diagrama de precedência. Em uma rede de tarefas, a folga (*float* ou *slack*) do cronograma é medida através do tempo total que uma tarefa pode atrasar ou ser estendida, sem comprometer o projeto como um todo. Isso pode ser verificado na tarefa B da Figura. Já o caminho crítico é obtido através das tarefas que possuem tempo de folga igual a zero, sendo que o atraso de uma dessas tarefas comprometerá a data final do projeto como um todo (PMI, 2013).

Figura 5 – Rede de tarefas e caminho crítico



Fonte: Adaptado de PMI (2013)

De acordo com Schwalbe (2013), a análise do caminho crítico auxilia o gestor de projetos fazer os *tradeoffs* durante o andamento do projeto. Isso porque caso o gerente de projetos verifique que uma das tarefas do caminho crítico atrase, ele a ordena como primeira e toma as possíveis decisões com base nela, pois a mesma está atrasando o projeto como um todo. Ainda de acordo com o autor, dentre as possíveis soluções cabíveis a serem verificadas está a alocação de mais recursos para a execução dessa tarefa. Sendo assim, o caminho crítico oferece ao gestor de projetos os pontos que são necessários atenção durante o decorrer do projeto, porém não oferece subsídios quanto à direção a ser seguida na alocação de tarefas.

Dentre os problemas de alocação de recursos, Huang et al. (2011) afirmam que os métodos clássicos de montagem de cronogramas como PERT e CPM contêm apenas informações de tempos existentes em um dado momento. Segundo o autor, tais técnicas possuem ainda deficiências caracterizadas por restrições de recursos e múltiplos projetos que chegam dinamicamente, visto que usualmente os recursos são restritos e atuam em mais de um projeto simultaneamente, o que torna necessário o uso de otimização, tanto de prazo como de custo. O autor afirma também que os recursos devem ser usados de maneira consistente e nivelados para otimizar o custo de um projeto, a fim de reduzir ociosidade ou pagamento de horas extras. Lee et al. (2007) afirma que quando se tem um número limitado de recursos, uma política de alocação de recursos deve ser planejada pois ela influenciará fortemente na duração dos projetos como um todo.

#### 2.4 PROBLEMA DE ALOCAÇÃO COM RESTRIÇÕES DE RECURSOS EM (MÚLTIPLOS) PROJETOS: RCPSP E RCMPSP

Uma série de pesquisadores já estudaram ou vem estudando problemas como o RCPSP ou RCMPSP. Autores como Kolisch e Padman (2001) pesquisaram técnicas desenvolvidas para o RCPSP, como por exemplo, programação dinâmica, programação zero-um e enumeração implícita com *branch and bound*. Outras metodologias para a solução exata podem ser encontradas em Demeulemeester e Herroelen (1996). Dentre os estudos mais difundidos, *branch and bound* é o mais amplamente aplicado. No entanto, suas buscas de profundidade ou primeira procura não podem explorar de forma exaustiva um problema de agendamento de projetos em larga escala. Muitas abordagens de soluções baseadas em heurística também podem ser encontradas na literatura (Browning e Yassine, 2010). Não existe uma única regra de

prioridade que funcione bem o tempo todo, no entanto, Browning e Yassine (2010), sugeriram que regras diferentes devem ser usadas com base em diferentes características do projeto e do problema.

Muitas abordagens meta-heurísticas têm sido desenvolvidas para resolver problemas intratáveis de forma rápida, eficiente e ao mesmo tempo satisfatória (Yassine et al, 2017). Tais abordagens podem ser encontradas na literatura em trabalhos de Kolisch e Hartmann (1998); Brucker et al. 1999; Kolisch e Hartmann (2006). Com foco especial voltado a um único projeto, Hartmann (1998; 2002) desenvolveu um Algoritmo Genético baseado em permutação e introduziu um esquema de representação auto adaptável que determina automaticamente a melhor programação.

Kim et al. (2005) propuseram um modelo matemático para programar atividades em múltiplos projetos que obedeçam múltiplas restrições de recursos, restrições de precedência no ambiente RCMPSP, e então desenvolveram um Algoritmo Genético Híbrido (AGH) com controlador de lógica fuzzy (CLF) com o intuito de resolver o RCMPSP em função da dificuldade de superar tal problemática com as metodologias tradicionais. Os autores tiveram como objetivo minimizar o tempo total de projeto, bem como a minimização da penalidade de atraso total. Através de experimentos computacionais, comprovaram que o AGH com CLF proposto apresenta melhores resultados do que os algoritmos tradicionais.

Gonçalves et al. (2008) propõem um Algoritmo Genético para o resolver o RCMPSP com base em uma codificação cromossômica aleatória além de um procedimento de geração de cronograma que cria os chamados horários ativos parametrizados. Os autores testam sua abordagem em um conjunto de problemas gerados aleatoriamente que comprovam a eficácia do algoritmo proposto, afirmando que os resultados obtidos se aproximam do valor ótimo.

Já os autores Valls et al. (2008) propõem um AG híbrido adaptado ao RCPSP com um operador específico de cruzamento e busca local. O algoritmo difere de uma aplicação padrão do Algoritmo Genético em três aspectos fundamentais: (i) primeiramente o operador crossover não é um operador aleatório puro nem um operador sem contexto, (ii) o AGH usa sistematicamente a dupla justificativa como um mecanismo simples, rápido e poderoso para melhorar o cronograma, (iii) sua estratégia é incorporada em duas fases na qual a segunda fase reinicia a evolução da população de um vizinho do melhor horário encontrado na primeira fase. Segundo os autores, a qualidade da solução aumenta constantemente com o aumento de números de horários gerados e o tempo de computação aumenta linearmente conforme aumenta o número de agendamentos, o que o torna facilmente previsível.

Dada a grande dificuldade que os gerentes de projetos têm em alocar seus recursos a fim de minimizar o atraso médio do projeto, Browning e Yassine (2010) abordaram o RCMPSP em relação ao atraso de projeto e atraso de portfólio. Com isso, realizaram uma análise abrangente de vinte heurísticas de regras de prioridade uma vez que os trabalhos existentes não fornecem aos gerentes orientação clara sobre qual regra usar em várias situações. Concluíram que existe diferença significativa entre diferentes heurísticas de regras de prioridade e a escolha da mais adequada deve estar em evidências ao gerente de projetos, indo ao encontro dos objetivos da empresa.

Dong et al. (2012) apresentaram um novo método baseado em AG para o problema de RCMPSP que automatiza a geração de horários prévios durante a fase de finalização de projetos complexos com o objetivo de minimizar a duração ou o custo do projeto, pois segundo os autores, os AG não considera três aspectos práticos fundamentais que gerentes de projetos lidam com frequência nos locais de trabalhos: as prioridades de engenharia de cada subprojeto individual, a restrição de zona e a restrição de bloqueio. Como resultado, os autores analisaram o método proposto em comparação com o método baseado em simulação e constataram que à medida que a complexidade do projeto cresce, o método proposto apresenta melhores resultados que o método baseado em simulação.

Com o intuito de resolver problemas de otimização de rede, Tasan e Gen (2013) propõem um método integrado baseado em Algoritmos Genéticos para considera-lo como um problema exclusivo, que considera a seleção junto com o agendamento, com o objetivo de minimizar o tempo total de projetos e penalidades por atraso de projetos. Para destacar o desempenho e a aplicabilidade do algoritmo proposto, foram resolvidos problemas de RCMPSP de projetos alternativos e tempo de atividades variável. Os autores constataram que os resultados do algoritmo proposto com relação a métodos de hierarquia tradicionais, são superiores, especialmente para problemas com alta complexidade de rede disjuntiva, pelo fato de manter a integridade da estrutura do problema considerando subprojetos alternativos simultaneamente.

O Quadro 1 apresenta uma matriz dos aspectos comuns estudados pelos autores.

Quadro 1 – Matriz do RCMPSP

| <b>Autor</b>     | <b>Objetivos</b>   | <b>Meio</b>                | <b>Área</b>               |
|------------------|--|----------------------------|---------------------------|
| Kim et al (2005) | Minimização do tempo total do projeto e penalidades por atraso | Algoritmo Genético Híbrido | Gerenciamento de projetos |

|                                |  |                                    |                           |
|--------------------------------|--|------------------------------------|---------------------------|
| Gonçalves <i>et al.</i> (2008) | Minimização da duração ou custo do projeto                     | Algoritmo Genético                 | Gerenciamento de projetos |
| Valls <i>et al.</i> (2008)     | Minimização do tempo total de projeto                          | Algoritmo Genético Híbrido         | Gerenciamento de projetos |
| Browning e Yassine (2010)      | Minimizar o atraso médio de projetos                           | Heurísticas de regra de prioridade | Gerenciamento de projeto  |
| Dong <i>et al.</i> (2012)      | Minimização da duração ou custo do projeto                     | Algoritmo Genético                 | Gerenciamento de projeto  |
| Tasan e Gen (2013)             | Minimização do tempo total do projeto e penalidades por atraso | Algoritmo Genético Integrado       | Otimização de redes       |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

## 2.5 ALGORITMOS GENÉTICOS

Algoritmos Genéticos (AG) são uma categoria de algoritmos heurísticos muito difundidos na literatura. Foram introduzidos por Holland (1975) e se caracterizam por se inspirar no processo de evolução biológica. Os AGs simultaneamente consideram um conjunto ou uma população de soluções, ao invés de uma única. Após gerada uma solução inicial, outras soluções são encontradas pela combinação de duas existentes (cruzamento) ou modificando uma solução já existente (mutação). Assim que novas soluções forem encontradas, as melhores soluções “sobrevivem” para gerar uma nova solução, enquanto as demais são descartadas (KOLISCH; HARTMANN, 2006). O uso da tecnologia se faz necessário para achar uma solução em tempo hábil.

De uma maneira geral, através de um mecanismo iterativo de busca, os AGs têm por objetivo encontrar as melhores soluções para os problemas de otimização. A partir de uma solução inicial, o algoritmo promove a combinação dos melhores indivíduos e desta combinação gera uma nova população que substituirá a população anterior, e assim sucessivamente (FERNANDES, 2005). Desta forma, o AG apresenta novas e melhores soluções para um determinado problema de otimização que está sendo analisado. O processo se encerra com a convergência do algoritmo.

Segundo Ávila (2002), os AGs são algoritmos de otimização estocásticos, que funcionam de forma “aleatória orientada” conforme regras probabilísticas que estão relacionadas com mecanismos da genética natural. Na etapa inicial da implementação do algoritmo uma população apta é gerada para a solução do problema. Em seguida, é realizada a

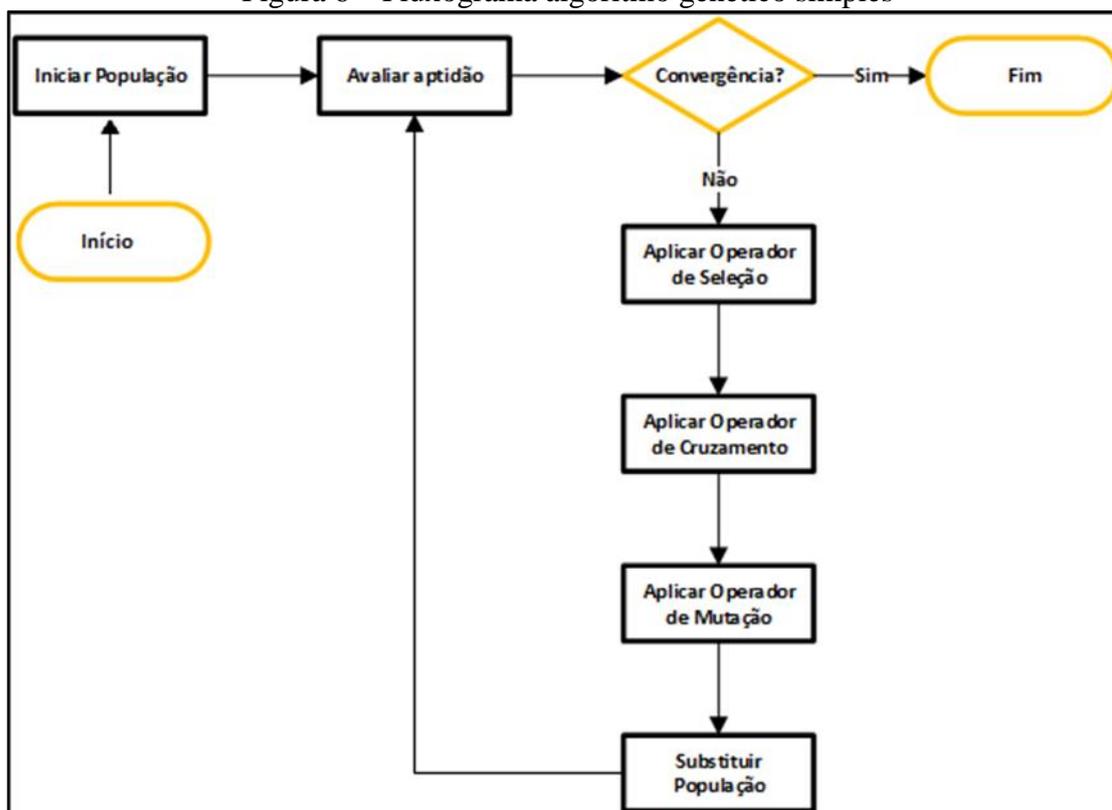
etapa de reprodução entre os indivíduos, gerando permutações do material genético através de cruzamentos, e o material genético novo é inserido através de mutações. Tais iterações respeitam a lei da genética natural onde os mais aptos têm maior probabilidade de prevalecer. Dessa forma, a população inicial tende a ser melhorada, sendo que os mais aptos correspondem aos indivíduos que obtém um maior valor (maximização) ou menor (minimização) para determinada função objetivo do problema.

Bento e Cagan (2008), afirmam que os AGs são métodos numéricos de otimização e que para sua maior robustez, se diferenciam dos demais em quatro aspectos fundamentais:

- a) AGs trabalham sob uma perspectiva de codificação de parâmetros, ao invés de parâmetros originais do sistema;
- b) AGs buscam uma solução ótima a partir de um conjunto de soluções, não somente a partir de uma única solução;
- c) AG básico emprega uma função de avaliação para diferentes soluções pesquisadas, que são codificadas em sequências de comprimento conhecido, denominadas strings, podendo fazer uso do alfabeto binário na representação destas sequências;
- d) AGs utilizam regras probabilísticas para a pesquisas de novas soluções e não determinísticas.

Em resumo, um Algoritmo Genético simples para programação de projeto funciona da seguinte forma. Primeiramente, um cronograma viável das atividades do projeto é codificado em um cromossomo. Os múltiplos cromossomos formam uma população do AG. Ao selecionar os cromossomos mais aptos, ou seja, os que apresentam o melhor resultado dado a função objetivo, como a duração do projeto, e aplicando os operadores genéticos comuns, seleção, cruzamento e mutação, a população deverá melhorar ao longo do tempo. O AG dará prosseguimento até satisfazer algum critério de convergência (YASSINE et al., 2017). Esse fluxograma pode ser verificado na Figura 6.

Figura 6 – Fluxograma algoritmo genético simples



Fonte: Adaptado Yassine et al (2017)

Majumdar e Bhunia (2012) estabelecem uma proposta de inicialização, cruzamento e mutação ao problema de atribuição, de forma a otimizar a atribuição de recursos aos seus postos de trabalho. As premissas utilizadas para a modelagem do problema colocados por Majumdar e Bhunia (2012), se dão conforme a seguir:

- a) há  $m$  recursos para executar  $n$  tarefas, sendo que  $n > m$ ;
- b) cada tarefa é atribuída a um recurso;
- c) todos os recursos devem ser alocados;
- d) alguns recursos podem receber mais de uma tarefa, sem que ultrapasse sua capacidade;
- e) todas as tarefas iniciam simultaneamente.

Para um determinado conjunto de tarefas e recursos tem-se (MAJUMDAR; BHUNIA, 2012):

$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$  para um conjunto de recursos;

$J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$  para um conjunto de tarefas.

O objetivo do problema de atribuição é minimizar o custo/tempo total garantindo que todas as tarefas sejam concluídas (MAJUMDAR; BHUNIA, 2012). Desta forma tem-se:

$C_{ij}$  = custo/hora de atribuir a tarefa  $J_j$  para o recurso  $A_i$ ;

$X_{ij}$  = variáveis de decisão, onde  $X_{ij}=1$ , se a tarefa  $J_j$  for atribuída ao recurso  $A_i$ , e  $X_{ij}=0$  caso contrário.

A modelagem matemática é proposta através da Equação (1), para a função objetivo, e das Equações (2) a (5), para as restrições (MAJUMDAR e BHUNIA, 2012).

Minimizar

$$FO = \sum_i \sum_j C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a

$$\sum_i X_{ij} = 1, \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum_j X_{ij} \leq (n - m + 1), \quad \forall i, \quad (3)$$

$$\sum_j X_{ij} \geq 1, \quad \forall i, \quad (4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall (i,j) \in A \times J \quad (5)$$

### 3 MÉTODO

Neste capítulo, é apresentado o método de pesquisa e o método de trabalho para esse estudo.

#### 3.1 MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho tem uma abordagem quantitativa, por meio da aplicação do algoritmo de otimização para determinação de equipes de trabalho. Além disso, se caracteriza por uma abordagem causal, visto que procura quais pessoas (recursos) são mais adequados para execução de determinados tipos de atividades de forma balanceada, com objetivo de reduzir o tempo de entrega.

Com isso, o presente trabalho em relação ao seu método, pode ser classificado como uma pesquisa de modelagem e simulação. Especificamente, utiliza a pesquisa empírica normativa para gerar modelos para a tomada de decisão. O modelo é desenvolvido por meio das etapas de descrição, construção, elaboração e validação (MORABITO; PUREZA, 2012).

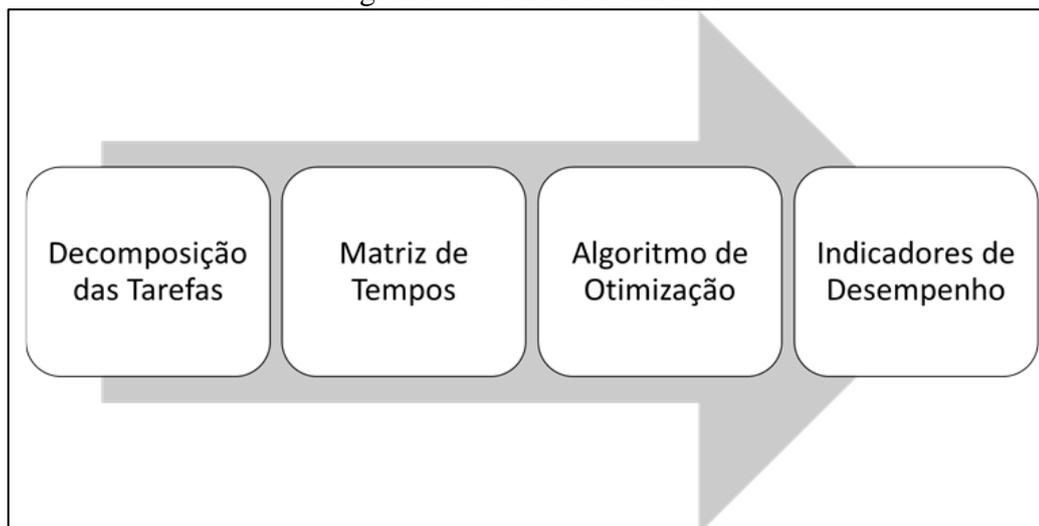
O estudo desse trabalho é realizado no setor de Engenharia de Aplicação, delimitando-se às fases de aprovação e detalhamento de projetos. A aplicação de um algoritmo para alocação de recursos nas atividades requer constante manutenção dos dados coletados, enquanto que o tempo padrão das pessoas pode mudar em função do desenvolvimento de suas competências, assim como novas atividades podem surgir fora daquele padrão determinado neste trabalho. Portanto, para a utilização do algoritmo, deverão ser analisados os dados como atividades, tempos e restrições do atual corpo de trabalho.

#### 3.2 MÉTODO DE TRABALHO

Para atingir os objetivos deste estudo, o método para o desenvolvimento do trabalho foi organizado como mostra a Figura 7. Na Figura, verifica-se quatro etapas que são desenvolvidas, bem como a sequência de como se pretende realizar cada uma delas.

A primeira etapa é a decomposição das tarefas em partes possíveis de serem gerenciadas. O processo de alocação de tarefas se torna complexo à medida que o número de tarefas e recursos aumenta, logo é pertinente encontrar um equilíbrio no número de tarefas a ser gerado, de tal forma que o custo para o gerenciamento das mesmas não extrapole o custo obtido pelo seu melhor controle.

Figura 7 – Método do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Com a decomposição das tarefas concluída, é elaborada uma matriz de tempos que cada recurso necessita para a realização de determinada tarefa. Esta etapa é executada por meio de entrevistas junto aos recursos, com base no conhecimento empírico de cada um. O que ocorre é que os tempos levantados por cada recurso podem não condizer com aquilo que é realizado na prática. Tal problema espera-se ser corrigido com o apontamento de cada atividade e retroalimentação no banco de dados desta matriz. Sendo assim, com o amadurecimento de cada recurso na realização de suas tarefas, ou com a inserção de novos recursos, os tempos da matriz de atividades sofrerá atualizações conforme períodos a serem definidos pela empresa.

O próximo passo é a construção de um Algoritmo Genético para alocação de tarefas, a fim de tornar possível esse processo de forma otimizada. As características pertinentes ao algoritmo devem ir de acordo com a estratégia de cada empresa. Para o estudo de caso em questão, o algoritmo levará em consideração um sequenciamento já definido das tarefas e necessitará da informação sobre o prazo de entrega de cada uma dessas tarefas. Dois pesos serão incorporados ao algoritmo e caberá ao gestor analisar qual valor está mais adequado à estratégia da empresa.

O primeiro peso a ser definido diz respeito ao balanceamento da alocação das atividades, ou seja, se de fato for importante que o algoritmo procure com que todos recursos se aproximem quanto a um tempo total da realização de suas tarefas, que tem por objetivo reduzir o *lead time* de entrega das tarefas. Outro peso, será com relação ao atraso na entrega das tarefas. Ficará também a critério do gestor atribuir pesos maiores ou menores como penalização para essa questão.

Por fim, a validação do novo modelo é por meio de indicadores de desempenho que, no estudo em questão, se dará através da comparação do método de alocação de tarefas por meio do Algoritmo Genético, com o método atual. Atualmente, a alocação das tarefas é feita pelo coordenador da engenharia. Os indicadores são detalhados na seção de resultados do trabalho.

## 4 RESULTADOS

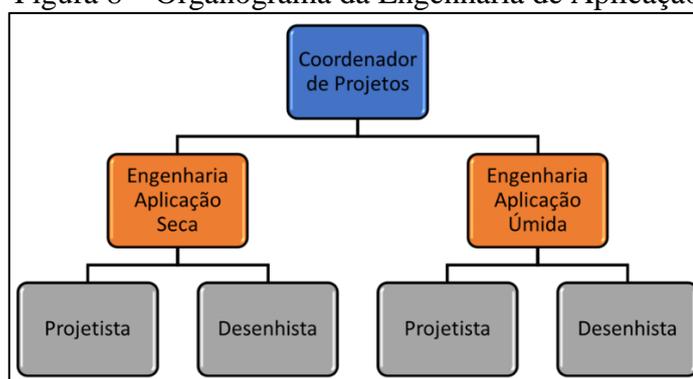
Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos com base nas etapas descritas anteriormente. Primeiramente, é apresentado o cenário completo de gerenciamento de projetos atual, para em seguida, a partir dos dados coletados, analisar os resultados comparando o processo atual de alocação de tarefas com o processo por meio da implantação do algoritmo. Por fim, são simulados os impactos gerenciais que a implantação deste novo processo poderá resultar.

### 4.1 DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O estudo de caso se baseia na avaliação do melhor cenário na etapa de alocação de tarefas no setor de Engenharia de Aplicação. Isto se dá comparando a alocação de tarefas para os recursos realizada pelo coordenador com a alocação por meio da implementação de um Algoritmo Genético.

O setor de Engenharia de Aplicação está subdividido em duas grandes áreas, Engenharia Seca e Engenharia Úmida, de acordo com características de cada profissional. Não necessariamente o profissional de uma área está impedido de realizar tarefas de outras, principalmente para aquelas tarefas que não requerem o conhecimento de um projetista, mas sim de um desenhista. Na Figura 14, o organograma deste setor é apresentado.

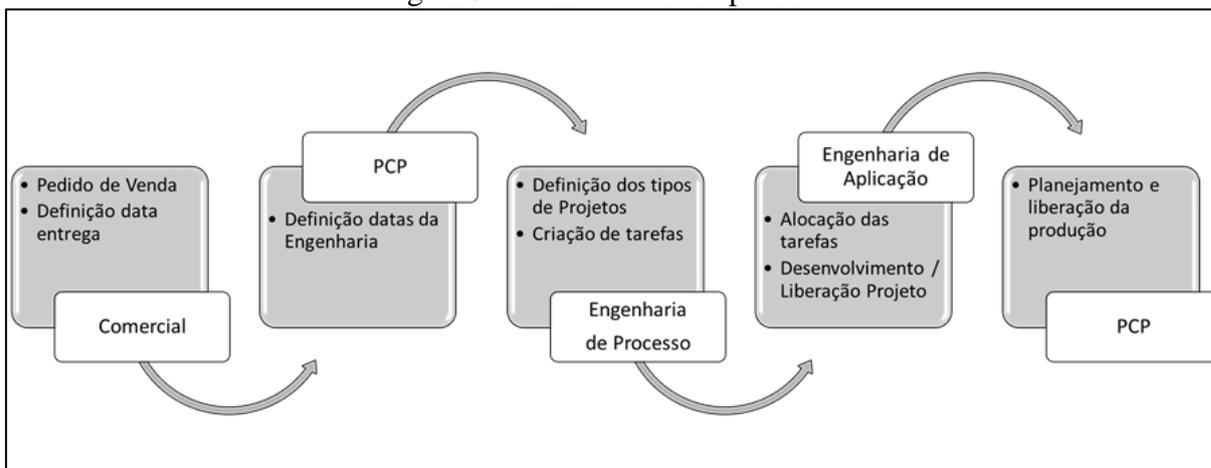
Figura 8 – Organograma da Engenharia de Aplicação



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

Para compreender como se dará o processo de alocação de tarefas de forma detalhada, se faz necessário o entendimento do cenário atual da empresa. Na Figura 8, verifica-se um macro fluxo iniciado no setor do comercial e terminado no setor do PCP, fluxo este que contempla também etapas do desenvolvimento do trabalho dentro da empresa em questão.

Figura 9 – Macro fluxo do processo

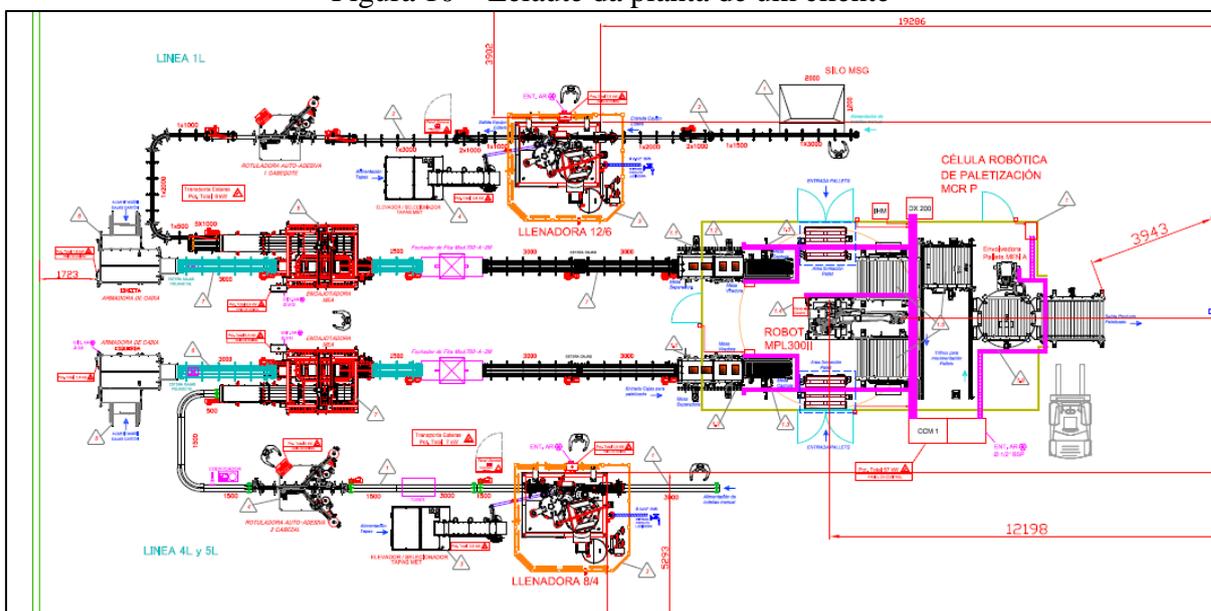


Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

A etapa inicial da geração do pedido de venda, bem como a definição da data de entrega, se dá após uma reunião com todos os setores envolvidos no processo de concepção do produto, que se encerra com a expedição do mesmo. Aqui, salienta-se uma dificuldade encontrada na empresa com relação a dúvida se de fato a engenharia terá ou não capacidade de entregar tal projeto dentro das datas que o PCP exigirá, isso porque, um único projeto poderá gerar tarefas suficientes para tornar o trabalho do coordenador da engenharia suficientemente complexo, o que inviabiliza a análise durante o período que é realizada a reunião.

O pedido de venda, se dá com base em um leiaute elaborado para o cliente, onde consta inúmeros equipamentos, os quais podem ou não fazerem parte do portfólio de produtos da empresa. A Figura 9 mostra o leiaute de um cliente da empresa.

Figura 10 – Leiaute da planta de um cliente

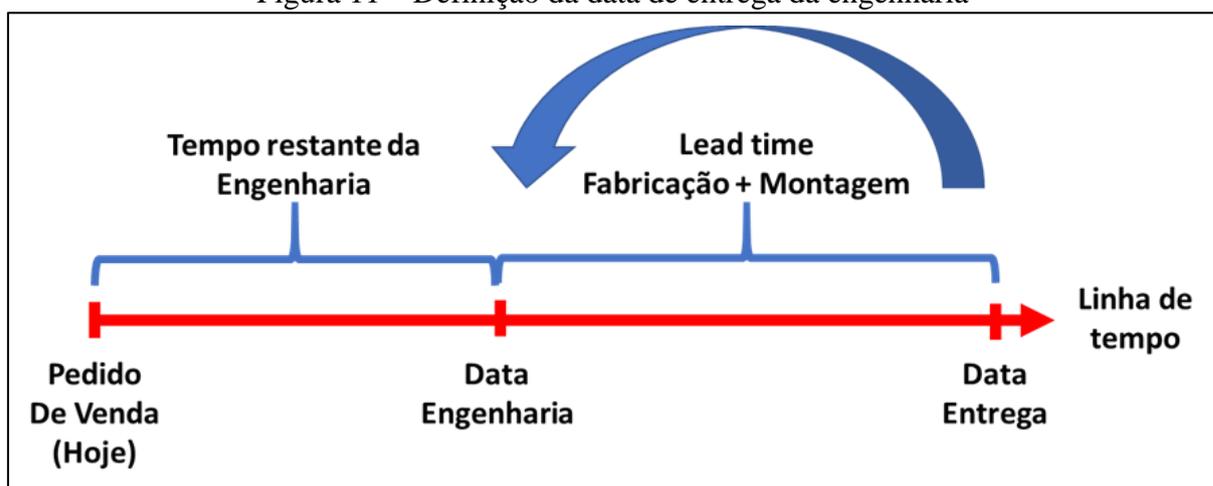


Fonte: Fornecido pela empresa (2018)

O leiaute é composto por uma série de equipamentos e resulta em um pedido de venda com data de entrega definida e com cada equipamento descrito neste pedido. Cada equipamento é composto por um ou mais modelos, que são características de um equipamento usadas geralmente na variação da capacidade do mesmo. No exemplo da Figura 9, o pedido de venda é composto por uma série de equipamentos, diferentes modelos, que resultará em um número “X” de tarefas das quais precisarão ser geradas e alocadas conforme será descrito a seguir.

A etapa seguinte, conforme verificado na Figura 8, se dá no setor do PCP. Cabe ao mesmo, com base em um banco de dados elaborado em conjunto com a engenharia e fábrica, definir a data de entrega de cada equipamento lançado no pedido de venda anterior e suas respectivas tarefas. Neste banco de dados, consta o *lead time* do equipamento e de suas tarefas durante a etapa de fabricação mais a etapa de montagem. Logo, a data de entrega do equipamento para o setor de engenharia será a partir da data de entrega definida pelo comercial, menos o *lead time* de fabricação e montagem tirado deste banco. Logo, quanto maior for a data de entrega a ser efetivada pelo setor comercial, maior será o tempo que a engenharia terá para o desenvolvimento do projeto, visto que o *lead time* de fabricação e montagem não mudam. A Figura 10 evidencia esse processo.

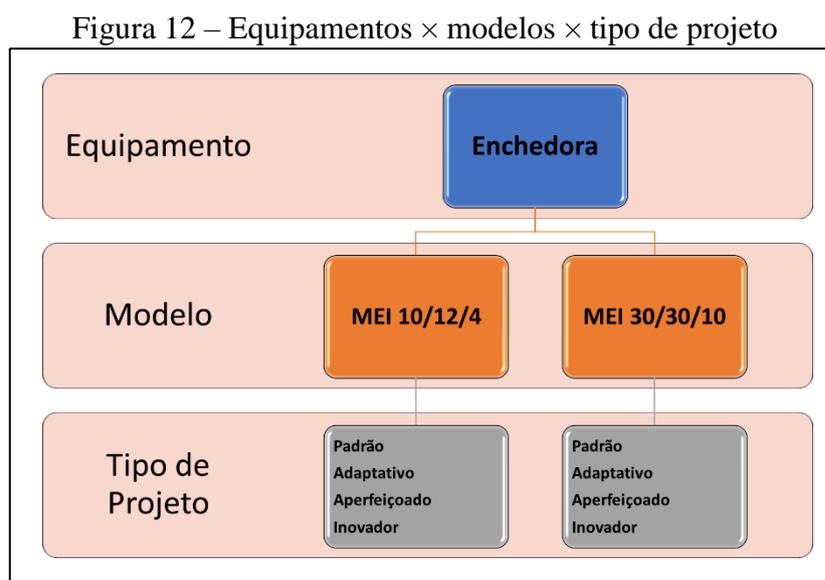
Figura 11 – Definição da data de entrega da engenharia



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

Além do gerenciamento do projeto como um todo, ou gerenciamento do pedido de venda, se faz necessário o gerenciamento de cada modelo de equipamento para uma gestão efetiva deste projeto. Existem ainda diferentes níveis de complexidade para cada projeto, denominado tipo de projeto, isso em função da natureza do mesmo, ou então pelo grau de customização de cada. A Mesal conta com quatro categorias de tipos de projetos, denominadas

projeto padrão, projeto adaptativo, projeto aperfeiçoado e projeto inovador. Para entender melhor o conceito, equipamento, modelo e tipo de projeto, na Figura 11 verifica-se um equipamento, dois modelos do mesmo equipamento e os tipos de projetos que podem comportar esses modelos. A empresa conta hoje em seu portfólio de produtos, com 37 equipamentos e 170 modelos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Os tipos de projeto padrão são compostos por equipamentos onde não há necessidade de desenvolvimento de itens novos, ou de projeto. É uma categoria de complexidade menor, uma vez que compõe modelos que já fazem parte do portfólio de produtos da empresa e não requerem customização para o funcionamento do mesmo na planta de um determinado cliente.

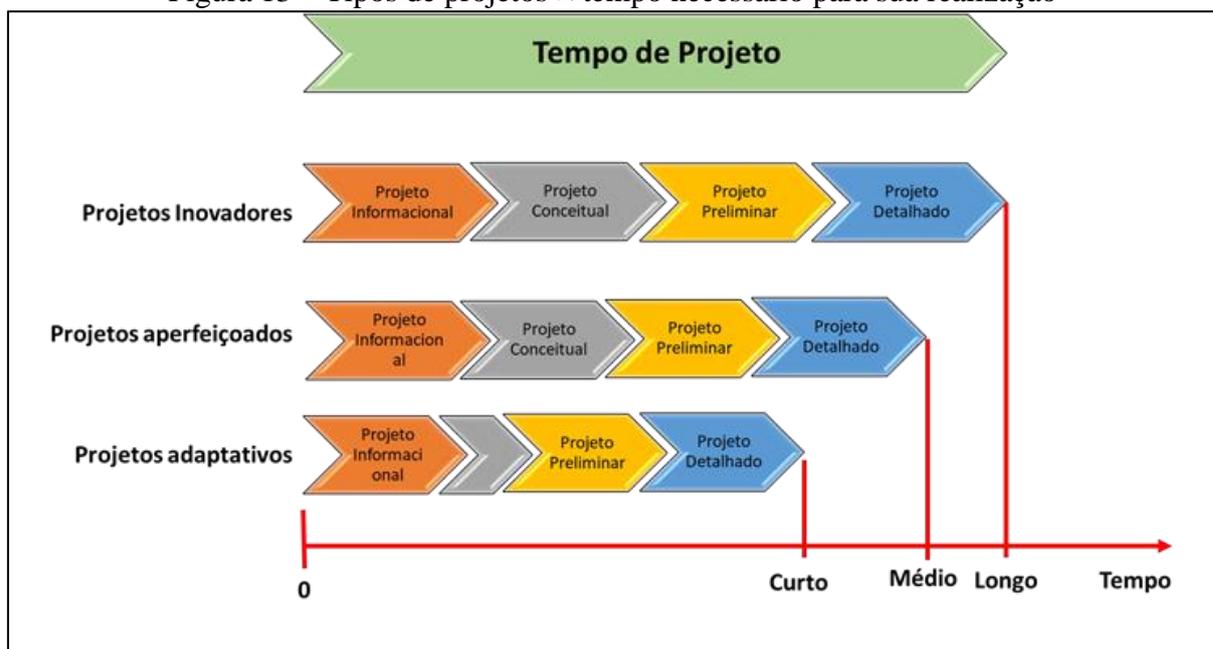
Já os tipos de projeto adaptativos, compõem modelos de equipamentos com maior grau de complexidade, fazem parte do portfólio de produto, porém para o pleno atendimento do mesmo aos requisitos do cliente se faz necessária a intervenção da engenharia no desenvolvimento de alguma customização no equipamento.

Os aperfeiçoados, são ainda mais complexos que os adaptativos, já possuem um modelo no portfólio de produtos da empresa, porém sua customização para o atendimento dos requisitos dos clientes é mais complexa do que tipo de projeto adaptativo.

Por fim, os projetos inovadores são equipamentos de maior complexidade, uma vez que esses não estão no portfólio de produtos da empresa, logo o tempo na engenharia para o desenvolvimento para esse tipo de equipamento normalmente é maior que os demais.

Na Figura 12, podemos verificar o impacto do tempo necessário na engenharia para os tipos de projetos adaptativos, aperfeiçoados e inovadores.

Figura 13 – Tipos de projetos × tempo necessário para sua realização



Fonte: Adaptado de Romano (2003)

Definidos os tipos de projetos para cada equipamento do pedido de venda, tendo em mãos as datas limites de entrega do setor do PCP, se faz necessário para o gerenciamento dos projetos na Mesal Máquinas a geração de tarefas e atividades para cada modelo de equipamento, levando em consideração o tipo de projeto ao qual esse modelo corresponde. Tais tarefas serão utilizadas na elaboração do cenário da aplicação do algoritmo proposto. Na Figura 13, as tarefas gerais para cada tipo de projeto são apresentadas.

Figura 14 – Tarefas × tipo de projeto

| Padrão                               | Adaptativo                               | Aperfeiçoado                                | Inovador                                    |
|--------------------------------------|--|---|---|
| <input type="checkbox"/> Adesivos    | <input type="checkbox"/> Adesivos        | <input type="checkbox"/> Adesivos           | <input type="checkbox"/> Adesivos           |
| <input type="checkbox"/> Motoredutor | <input type="checkbox"/> Enclausuramento | <input type="checkbox"/> Enclausuramento    | <input type="checkbox"/> Enclausuramento    |
| <input type="checkbox"/> Equipamento | <input type="checkbox"/> Motoredutor     | <input type="checkbox"/> Motoredutor        | <input type="checkbox"/> Motoredutor        |
|                                      | <input type="checkbox"/> Bomba           | <input type="checkbox"/> Bomba              | <input type="checkbox"/> Bomba              |
|                                      | <input type="checkbox"/> Equipamento     | <input type="checkbox"/> Projeto preliminar | <input type="checkbox"/> Projeto preliminar |
|                                      | <input type="checkbox"/> Reposicao       | <input type="checkbox"/> Projeto detalhado  | <input type="checkbox"/> Projeto detalhado  |
|                                      | <input type="checkbox"/> Pneumaticos     | <input type="checkbox"/> Reposicao          | <input type="checkbox"/> Reposicao          |
|                                      | <input type="checkbox"/> Kit             | <input type="checkbox"/> Pneumaticos        | <input type="checkbox"/> Pneumaticos        |
|                                      | <input type="checkbox"/> Bocal           | <input type="checkbox"/> Kit                | <input type="checkbox"/> Kit                |
|                                      |  | <input type="checkbox"/> Bocal              | <input type="checkbox"/> Bocal              |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Com os conceitos acima estabelecidos, elaborase uma matriz de tarefas por tempo em dias, que cada recurso é utilizará para seu desenvolvimento. É importante destacar que uma mesma tarefa, pode ser utilizada para diferentes tipos de projetos, bem como diferentes modelos de equipamentos, o que pode resultar em tempos diferentes para um mesmo recurso ou ainda a não aptidão de um recurso para uma determinada tarefa. No estudo de caso em questão, o período de trabalho de 3 meses resultou num total de 221 tarefas a serem alocadas entre 10 recursos.

Para aqueles recursos onde o mesmo não é apto para a execução da atividade, coloca-se o valor de 1e6 a fim de o algoritmo proposto não alocar a tarefa para este recurso através de penalizações incorporadas ao algoritmo, uma vez que tem como função objetivo a minimização do tempo total de execução. O levantamento dos tempos que cada recurso necessita para o desenvolvimento de cada tarefa se deu através de entrevistas com o próprio recurso. No Quadro 2, vem apresentada a matriz criada para um dos equipamentos, bem como o tempo em dias que cada recurso utilizará para o desenvolvimento da tarefa.

Quadro 2 – Matriz de tarefas × tempos de recursos

| MODELO      | TIPO DE PROJETO | TAREFA             | RECURSO / TEMPO |     |     |      |      |     |      |     |     |     |     |
|-------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----|-----|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
|             |                 |                    | R01             | R02 | R03 | R04  | R05  | R06 | R07  | R08 | R09 | R10 |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | ADESIVOS           | 1e6             | 1   | 1e6 | 1e6  | 1e6  | 1e6 | 1e6  | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | ENCLAUSURAMENTO    | 1e6             | 5   | 1e6 | 1e6  | 1e6  | 1e6 | 1e6  | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | PROJETO CONCEITUAL | 1e6             | 1e6 | 1e6 | 3    | 3    | 1e6 | 3    | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | MOTOREDUTOR        | 1e6             | 1e6 | 1e6 | 1    | 1    | 1e6 | 1    | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | BOMBA              | 1e6             | 1e6 | 1e6 | 0.25 | 0.25 | 1e6 | 0.25 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | PROJETO PRELIMINAR | 1e6             | 1e6 | 1e6 | 18   | 24   | 1e6 | 18   | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | PROJETO DETALHADO  | 15              | 15  | 15  | 10   | 13   | 15  | 10   | 15  | 15  | 15  | 1e6 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | REPOSICAO          | 1e6             | 1e6 | 1e6 | 0.25 | 0.25 | 1e6 | 0.25 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | PNEUMATICOS        | 1e6             | 1e6 | 1e6 | 1    | 1    | 1e6 | 1    | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | KIT                | 1e6             | 1e6 | 1e6 | 2    | 3    | 1e6 | 2    | 1e6 | 3   | 1e6 | 1e6 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Um projeto de leiaute, como o exemplificado na Figura 9, determina então uma série de tarefas, com datas limites que a engenharia deverá se comprometer em entregar. No Quadro 3, verifica-se a lista de tarefas para o mesmo equipamento do Quadro 2. Essa será a lista de tarefas ou atividades que é então encaminhada ao coordenador da Engenharia de Aplicação e caberá ao mesmo alocar elas aos seus recursos, de tal forma a obter o máximo de eficiência de sua equipe.

Quadro 3 – Lista de tarefas para um equipamento

| MODELO      | TIPO DE PROJETO | TAREFA             | DATA ENTREGA |
|-------------|-----------------|--------------------|--------------|
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | ADESIVOS           | 5/9/2018     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | ENCLAUSURAMENTO    | 4/9/2018     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | PROJETO CONCEITUAL | 2/8/2018     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | MOTOREDUTOR        | 2/8/2018     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | BOMBA              | 1/8/2018     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | PROJETO PRELIMINAR | 2/8/2018     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | PROJETO DETALHADO  | 2/8/2018     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | REPOSICAO          | 2/8/2018     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | PNEUMATICOS        | 31/08/18     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | KIT                | 11/9/2018    |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

A alocação de tarefas para cada recurso da área da Engenharia de Aplicação, etapa onde o presente estudo se aplica, se dá então de forma empírica. Porém, dado o grande número de tarefas, se torna muito difícil visualizar o cenário completo desta alocação, logo, gera-se uma ineficiência nesse processo, o que culmina principalmente em atrasos no cumprimento do cronograma. Para melhor elucidação deste cenário, o desenvolvimento deste trabalho se deu em um período de venda de 3 meses na empresa, o que culminou na geração de 221 tarefas. Sendo assim, o nível de complexidade para alocar essas 221 tarefas para um total de 10 recursos, minimizando ou mesmo zerando o atraso das mesmas com o máximo de eficiência, de fato não é uma tarefa simples.

Uma das premissas para a montagem do algoritmo foi a necessidade de alocação com o menor número de atrasos possíveis. Para isso, como input de entrada, além do tempo em que cada recurso leva para a execução de cada tarefa, foi necessário disponibilizar os dias úteis que cada tarefa possui antes do término do seu prazo. A determinação da quantidade de dias úteis dessa tarefa se dá a partir do dia atual em que se pretende rodar o algoritmo até a data de entrega do equipamento, definida anteriormente pelo PCP. No Quadro 4, incorpora-se na matriz de tempos  $\times$  recursos a coluna com a data de entrega de cada tarefa e na coluna ao lado pode-se calcular os dias úteis restantes para o término da tarefa, dado a data em que o algoritmo foi rodado. As linhas juntamente com a coluna de dias úteis mais as colunas com os tempos por recursos serão a entrada para rodar o algoritmo.

Quadro 4 – Matriz de tarefas com datas de entrega × tempos de recursos

| MODELO      | TIPO DE PROJETO | TAREFA             | DATA ENTREGA | DIAS ÚTEIS | RECURSOS / TEMPO |     |     |      |      |     |      |     |     |     |
|-------------|-----------------|--------------------|--------------|------------|------------------|-----|-----|------|------|-----|------|-----|-----|-----|
|             |                 |                    |              |            | R01              | R02 | R03 | R04  | R05  | R06 | R07  | R08 | R09 | R10 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | ADESIVOS           | 05/09/18     | 93         | 1e6              | 1   | 1e6 | 1e6  | 1e6  | 1e6 | 1e6  | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | ENCLAUSURAMENTO    | 04/09/18     | 66         | 1e6              | 5   | 1e6 | 1e6  | 1e6  | 1e6 | 1e6  | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | PROJETO CONCEITUAL | 02/08/18     | 66         | 1e6              | 1e6 | 1e6 | 3    | 3    | 1e6 | 3    | 1e6 | 1e6 |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | MOTOREDUTOR        | 02/08/18     | 71         | 1e6              | 1e6 | 1e6 | 1    | 1    | 1e6 | 1    | 1e6 | 1e6 |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | BOMBA              | 01/08/18     | 90         | 1e6              | 1e6 | 1e6 | 0.25 | 0.25 | 1e6 | 0.25 | 1e6 | 1e6 |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | PROJETO PRELIMINAR | 02/08/18     | 66         | 1e6              | 1e6 | 1e6 | 18   | 24   | 1e6 | 18   | 1e6 | 1e6 |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | PROJETO DETALHADO  | 02/08/18     | 66         | 15               | 15  | 15  | 10   | 13   | 15  | 10   | 15  | 15  |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | REPOSICAO          | 02/08/18     | 66         | 1e6              | 1e6 | 1e6 | 0.25 | 0.25 | 1e6 | 0.25 | 1e6 | 1e6 |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | PNEUMATICOS        | 31/08/18     | 66         | 1e6              | 1e6 | 1e6 | 1    | 1    | 1e6 | 1    | 1e6 | 1e6 |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | KIT                | 11/09/18     | 87         | 1e6              | 1e6 | 1e6 | 2    | 3    | 1e6 | 2    | 1e6 | 3   |     |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Também, pelo fato do algoritmo não tratar o sequenciamento das atividades, esse processo se dará de forma manual, o que pode ser feito com o auxílio da planilha Excel. Para o estudo de caso em questão, essa etapa se deu através da priorização das tarefas, sequenciando as mesmas de acordo com sua prioridade. O processo pelo qual as tarefas devem ser sequenciadas é de conhecimento do coordenador de projetos. Com isso, o resultado do algoritmo levará em consideração essa sequência, o que de fato é importante para o desenvolvimento das atividades dentro do setor de Engenharia da Mesal. No Quadro 5, está disponível a matriz de tarefas com data de entrega sequenciada × recursos, do mesmo equipamento anterior, sendo que a matriz completa com as 221 tarefas pode ser verificada no Apêndice A.

Quadro 5 – Matriz de tarefas com data de entrega sequenciada × tempo de recursos

| MODELO      | TIPO DE PROJETO | TAREFA                | DATA ENTREGA | DIAS ÚTEIS | RECURSOS / TEMPO |     |     |      |      |     |      |     |     |     |
|-------------|-----------------|-----------------------|--------------|------------|------------------|-----|-----|------|------|-----|------|-----|-----|-----|
|             |                 |                       |              |            | R01              | R02 | R03 | R04  | R05  | R06 | R07  | R08 | R09 | R10 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | 01_ADESIVOS           | 05/09/18     | 93         | 1e6              | 1   | 1e6 | 1e6  | 1e6  | 1e6 | 1e6  | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | 02_ENCLAUSURAMENTO    | 04/09/18     | 66         | 1e6              | 5   | 1e6 | 1e6  | 1e6  | 1e6 | 1e6  | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | 03_PROJETO CONCEITUAL | 02/08/18     | 66         | 1e6              | 1e6 | 1e6 | 3    | 3    | 1e6 | 3    | 1e6 | 1e6 |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18     | 71         | 1e6              | 1e6 | 1e6 | 1    | 1    | 1e6 | 1    | 1e6 | 1e6 |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | 05_BOMBA              | 01/08/18     | 90         | 1e6              | 1e6 | 1e6 | 0.25 | 0.25 | 1e6 | 0.25 | 1e6 | 1e6 |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | 06_PROJETO PRELIMINAR | 02/08/18     | 66         | 1e6              | 1e6 | 1e6 | 18   | 24   | 1e6 | 18   | 1e6 | 1e6 |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | 07_PROJETO DETALHADO  | 02/08/18     | 66         | 15               | 15  | 15  | 10   | 13   | 15  | 10   | 15  | 15  |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | 09_REPOSICAO          | 02/08/18     | 66         | 1e6              | 1e6 | 1e6 | 0.25 | 0.25 | 1e6 | 0.25 | 1e6 | 1e6 |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | 10_PNEUMATICOS        | 31/08/18     | 66         | 1e6              | 1e6 | 1e6 | 1    | 1    | 1e6 | 1    | 1e6 | 1e6 |     |
| MEG E 16/16 | INOVADOR        | 11_KIT                | 11/09/18     | 87         | 1e6              | 1e6 | 1e6 | 2    | 3    | 1e6 | 2    | 1e6 | 3   |     |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Com as 221 tarefas criadas e a matriz de tarefas com data de entrega sequenciada × tempo de recursos, primeiramente foi solicitado para o coordenador de projetos alocar tais tarefas para seus recursos da forma como esse processo normalmente é feito na empresa. Em seguida, foi executada a ferramenta de otimização desenvolvida por meio do Algoritmo Genético a fim de comparar os resultados obtidos com os resultados oriundos da alocação manual dessas tarefas.

Levando em consideração as informações apresentadas acima, aplicou-se a rotina de designação de tarefas, tendo como objetivo principal organizar a etapa do gerenciamento de projeto da empresa, mais especificamente a alocação de recursos.

Para implementar o modelo, foi tomado como referência o trabalho de Majumdar Bhunia (2012), conforme citado no Capítulo 2. A rotina computacional utilizou o *Software Matlab*, conforme Apêndice B, a qual em poucos segundos fornece o resultado do problema. A equação matemática empregada como função objetivo para a designação de tarefas se dá conforme a Equação (6).

$$\text{Min } FO = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n T_{ij} X_{ij} + \alpha \sum_{i=1}^m \left[ \sum_{j=1}^n \max \left\{ 0, \sum_{k=1}^j T_{ik} X_{ik} - P_j \right\} \right] + \beta \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (T_{ij} X_{ij})^2, \quad (6)$$

onde

$m$ : número total de recursos;

$n$ : número total de tarefas;

$X_{ij}$ : variável binária indicando se o recurso  $i$  executa a tarefa  $j$ ;

$T_{ij}$ : tempo de execução da tarefa  $j$  pelo recurso  $i$ ;

$P_j$ : prazo da tarefa  $j$ ;

$\alpha$ : coeficiente de penalização para o termo de atraso das tarefas;

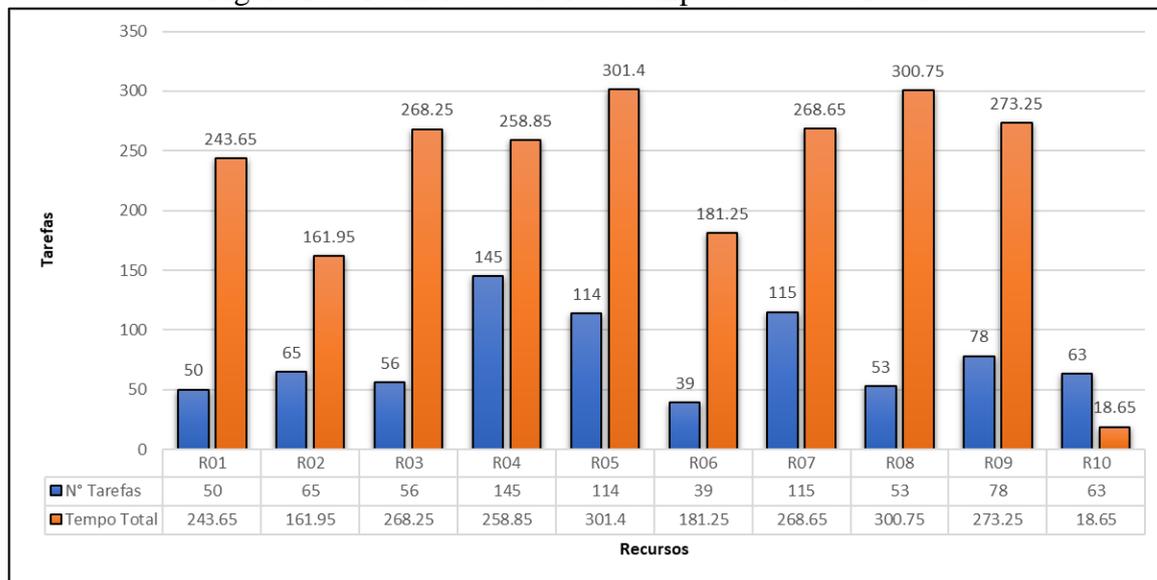
$\beta$ : coeficiente de penalização para altos valores de ocupação dos recursos.

A equação (6) tem por objetivo principal reduzir o tempo total para a realização das tarefas. Desta forma, o primeiro termo da equação se refere ao somatório dos tempos que cada recurso utiliza para a realização de cada tarefa. O segundo termo se refere à penalização dos atrasos com relação ao cumprimento das tarefas. Por fim, o terceiro termo se refere a penalização dos altos valores para o tempo de ocupação de cada recurso, o que acarreta uma redução no desbalanceamento na ocupação dos recursos.

Uma primeira análise que pode ser feita diz respeito à matriz de tarefas  $\times$  tempos de recursos montada com o auxílio dos projetistas. Hoje, a empresa adota uma estrutura funcional dentro do setor da engenharia, onde procura desenvolver especialistas em cada área do projeto. Existe atualmente um desbalanceamento no número de tarefas em que cada recurso está apto a

desenvolver, bem como um alto desvio padrão nos tempos totais para a realização dessas tarefas. Isso pode ser evidenciado na Figura 15.

Figura 15 – Número de tarefas e tempos totais dos recursos

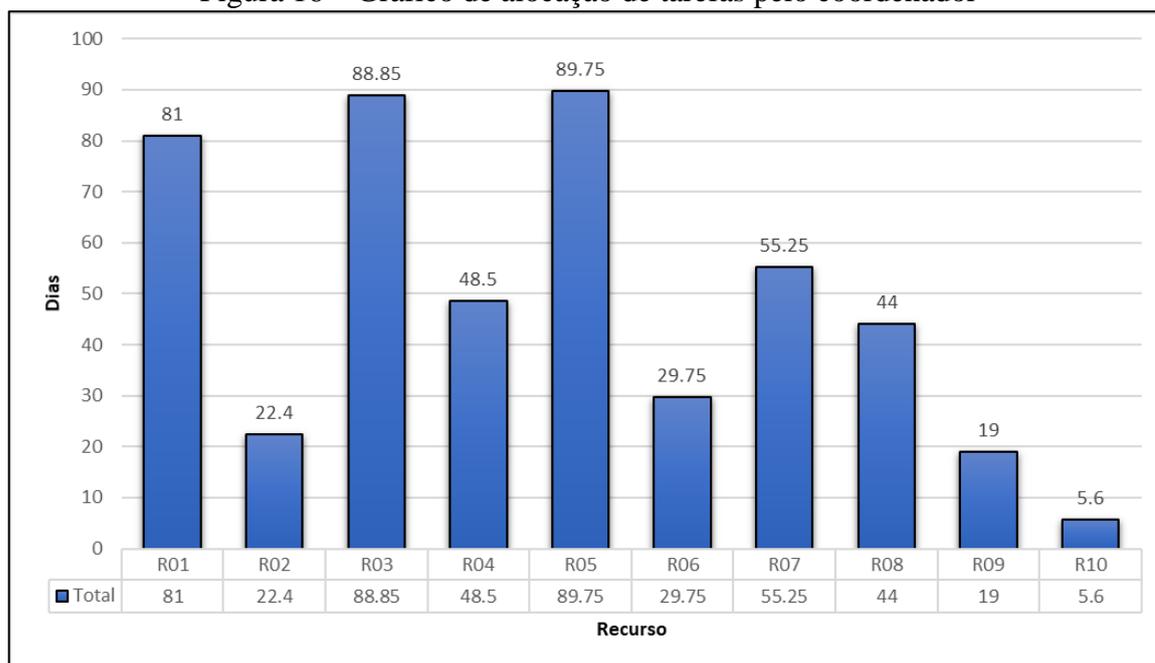


Fonte: Elaborado pelo Autor (2018)

Para efeito de análise, o desvio padrão apresentado para o número de tarefas que cada recurso está apto para a realização é de 34,9 enquanto o desvio padrão para o tempo total em que cada recurso poderá entregar suas tarefas é de 86,65. Fica evidente então que, dada a política adotada pela empresa, não há o favorecimento de equipes multidisciplinares.

A próxima análise se dá através da alocação manual por meio do coordenador do projeto da Engenharia de Aplicação. O primeiro ponto a ser analisado é o tempo gasto para a realização de todas as atividades. Na Figura 16, o resultado da alocação manual para cada recurso é mostrado.

Figura 16 – Gráfico de alocação de tarefas pelo coordenador



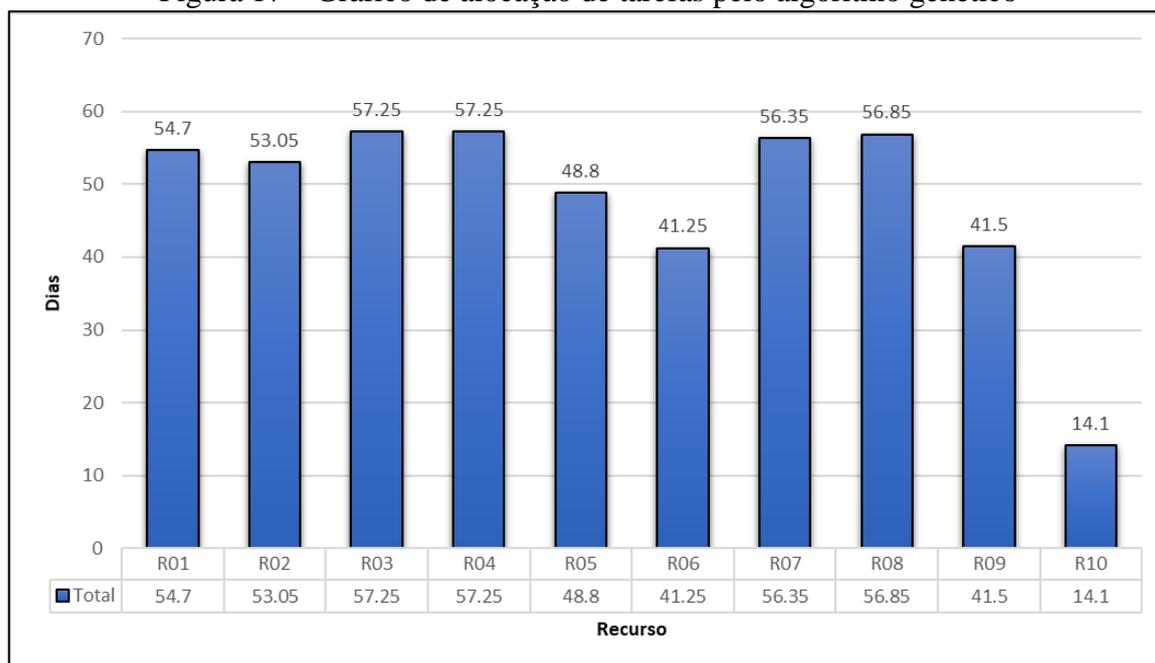
Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Um ponto a ser destacado diz respeito ao recurso R10 desta alocação, pois o mesmo se trata do próprio coordenador de projetos. Logo, não é interessante que o mesmo esteja sobrecarregado, uma vez que ele desempenha outras atividades que não dizem respeito somente à liberação de suas tarefas. Isso de fato ocorreu, uma vez que é ele próprio quem determina qual a sua capacidade.

Analisando os dados, verifica-se que o tempo total dessa alocação ficou em 484,1 dias, porém o que fica evidente é um desbalanceamento na carga total de cada recurso, o que gerou um desvio padrão de 30,17. Com isso, determinados recursos ficarão ociosos, enquanto outros estão sobrecarregados, o que poderá resultar em atrasos na entrega dos projetos. O que fica evidente também, é o *lead time* alto para a entrega de todas as tarefas. Isso se deve ao fato, de o recurso R05, por exemplo, possuir um *lead time* de entrega de suas tarefas de 89,75 dias, bem como o recurso R03 88,85 dias, o que corrobora para o atraso na entrega dos projetos, uma vez que para um projeto ser finalizado, é necessário que todas as suas tarefas também tenham sido.

Já na Figura 17, verifica-se os tempos de alocação obtidos por meio do uso do Algoritmo Genético. Com isso, compara-se qual dos dois métodos apresenta melhor rendimento quanto ao tempo total de alocação, quanto ao *lead time* total de entrega de todas as tarefas, o balanceamento de carga de cada recurso, além do tempo médio de alocação por tarefa.

Figura 17 – Gráfico de alocação de tarefas pelo algoritmo genético



Fonte: elaborado pelo autor (2018)

O tempo total de alocação de tarefas obtido por meio do Algoritmo Genético apresentou uma pequena melhora. Conforme verificado anteriormente, por meio da alocação manual, foram alocados 484,1 dias no total, caindo agora para 481,1 dias. Porém, ao observar o *lead time* máximo da entrega de todas as tarefas, foi possível reduzir de 89,75 para no máximo 57,25 dias, redução de 36,2%. Levando em consideração 22 dias úteis de trabalho mensal, significa uma redução na entrega dos projetos de um mês e meio.

Outro aspecto importante a ser destacado diz respeito ao balanceamento de carga entre os recursos determinado por meio do uso do algoritmo. Conforme verificado, o método resultou em um desvio padrão de 13,44 comparado com o desvio padrão de 30,17 obtido anteriormente pelo processo manual. Isso significa dizer que não haverá recursos sobrecarregados nem ociosos, o que resultará em menores taxas de atraso na entrega das tarefas, exceto no caso do recurso R10, o que é necessário dada sua função de coordenar dentro da empresa.

Dado os métodos de alocação manual e alocação por meio do algoritmo de designação, analisa-se também o atraso médio gerado por ambos os métodos, além dos dias totais de atrasos. Na Quadro 6, verifica-se o total de tarefas alocadas manualmente que serão concluídas no prazo e as tarefas atrasadas.

Quadro 6 – Número e percentual de tarefas finalizadas no prazo e atrasadas

| Situação           | Número total de tarefas | Porcentagem do total de tarefas |
|--------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Atrasado           | 28                      | 12.67%                          |
| Prazo              | 193                     | 87.33%                          |
| <b>Total Geral</b> | <b>221</b>              | <b>100%</b>                     |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Observa-se que serão atrasadas um total de 28 tarefas ou 12,67% das 221 tarefas alocadas manualmente. Isso poderá resultar no atraso geral de todos os projetos, caso forem atrasadas tarefas de projetos distintos, uma vez que para a conclusão do projeto é necessário a conclusão de todas as tarefas. Pelo método de alocação por meio do algoritmo de alocação, de acordo com o cenário do balanceamento demonstrado acima, não foram constatados atrasos em nenhuma tarefa e, rodando o algoritmo 10 vezes, o atraso médio foi de apenas 1 dia.

No Quadro 7, estão detalhadas todas as tarefas alocadas manualmente que geraram atraso em relação a sua data de entrega. Sabendo que os dias disponíveis representa a quantidade de dias disponíveis para que a tarefa seja entregue, e que os dias acumulados é a soma do tempo necessário para o recurso realizar a tarefa mais tempo já gasto nas tarefas anteriores, sempre que os dias acumulados superarem os dias disponíveis, significa que essa tarefa irá atrasar. O tempo de atraso será a diferença entre a quantidade de dias acumulados e a quantidade de dias disponíveis para a entrega dessa tarefa.

Quadro 7 – Tarefas atrasadas alocadas manualmente

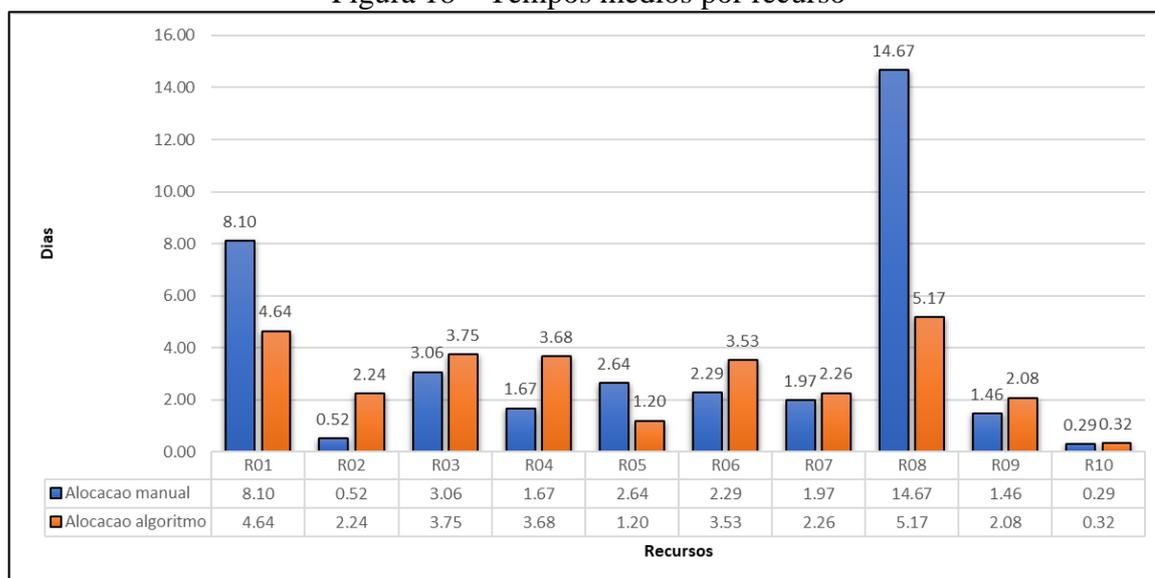
| TIPO DE PROJETO   | TAREFA       | MODELO       | DATA ENTREGA | DIAS DISPONÍVEIS        | TEMPO NECESSÁRIO | NOME RECURSO             | DIAS ACUMULADO | DIAS ATRASADOS |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|------------------|--------------------------|----------------|----------------|
| PROJETO DETALHADO | INOVADOR     | MCR P        | 11/7/18      | 66                      | 9                | R01                      | 79             | 13             |
| PNEUMATICOS       | INOVADOR     | MCR D        | 9/8/18       | 66                      | 1                | R01                      | 80             | 14             |
| PNEUMATICOS       | INOVADOR     | MCR P        | 9/8/18       | 66                      | 1                | R01                      | 81             | 15             |
| PROJETO DETALHADO | APERFEIÇOADO | MRA H        | 2/8/18       | 65                      | 6                | R03                      | 65.35          | 0.35           |
| PROJETO DETALHADO | INOVADOR     | MDA BC       | 2/8/18       | 66                      | 6                | R03                      | 71.35          | 5.35           |
| EQUIPAMENTO       | ADAPTATIVO   | MRB 1201     | 2/8/18       | 66                      | 0.5              | R03                      | 71.85          | 5.85           |
| EQUIPAMENTO       | ADAPTATIVO   | MRB 2001     | 2/8/18       | 66                      | 0.5              | R03                      | 72.85          | 6.85           |
| PNEUMATICOS       | INOVADOR     | MDA BC       | 31/8/18      | 66                      | 1                | R03                      | 73.85          | 7.85           |
| KIT               | ADAPTATIVO   | MRB 2001     | 9/8/18       | 82                      | 3                | R03                      | 82.85          | 0.85           |
| KIT               | APERFEIÇOADO | MRA H        | 9/8/18       | 60                      | 3                | R03                      | 88.85          | 28.85          |
| EQUIPAMENTO       | ADAPTATIVO   | MEF 415      | 2/8/18       | 66                      | 3                | R05                      | 68.5           | 2.5            |
| EQUIPAMENTO       | ADAPTATIVO   | MEI 10/12/4  | 2/8/18       | 66                      | 1                | R05                      | 69.5           | 3.5            |
| EQUIPAMENTO       | ADAPTATIVO   | MEI 20/24/6  | 2/8/18       | 66                      | 1                | R05                      | 70.5           | 4.5            |
| EQUIPAMENTO       | ADAPTATIVO   | MEI 30/30/10 | 2/8/18       | 71                      | 1                | R05                      | 71.5           | 0.5            |
| EQUIPAMENTO       | ADAPTATIVO   | MEI 40/40/10 | 2/8/18       | 66                      | 1                | R05                      | 72.5           | 6.5            |
| EQUIPAMENTO       | ADAPTATIVO   | MLG 6        | 2/8/18       | 71                      | 5                | R05                      | 77.5           | 6.5            |
| EQUIPAMENTO       | APERFEIÇOADO | MTT R2       | 2/8/18       | 73                      | 5                | R05                      | 82.5           | 9.5            |
| REPOSICAO         | ADAPTATIVO   | MEI 10/12/4  | 2/8/18       | 66                      | 0.25             | R05                      | 82.75          | 16.75          |
| REPOSICAO         | ADAPTATIVO   | MEI 30/30/10 | 2/8/18       | 66                      | 0.25             | R05                      | 83             | 17             |
| REPOSICAO         | ADAPTATIVO   | MEI 40/40/10 | 2/8/18       | 66                      | 0.25             | R05                      | 83.25          | 17.25          |
| REPOSICAO         | ADAPTATIVO   | MLG 6        | 2/8/18       | 66                      | 0.25             | R05                      | 83.5           | 17.5           |
| REPOSICAO         | INOVADOR     | MEG E 16/16  | 2/8/18       | 66                      | 0.25             | R05                      | 83.75          | 17.75          |
| PNEUMATICOS       | ADAPTATIVO   | MEI 10/12/4  | 31/8/18      | 71                      | 0.5              | R05                      | 84.25          | 13.25          |
| PNEUMATICOS       | ADAPTATIVO   | MEI 30/30/10 | 31/8/18      | 50                      | 0.5              | R05                      | 84.75          | 34.75          |
| PNEUMATICOS       | ADAPTATIVO   | MEI 40/40/10 | 31/8/18      | 50                      | 0.5              | R05                      | 85.25          | 35.25          |
| PNEUMATICOS       | ADAPTATIVO   | MLG 6        | 31/8/18      | 50                      | 0.5              | R05                      | 85.75          | 35.75          |
| PNEUMATICOS       | INOVADOR     | MEG E 16/16  | 31/8/18      | 66                      | 1                | R05                      | 87.75          | 21.75          |
| KIT               | APERFEIÇOADO | MPF 122      | 9/8/18       | 60                      | 2                | R05                      | 89.75          | 29.75          |
|                   |              |              |              | <b>DIAS NECESSÁRIOS</b> | <b>54.25</b>     | <b>DIAS ATRASO TOTAL</b> |                | <b>388.2</b>   |

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Conforme pode ser verificado, o total de 28 tarefas atrasadas resultou num atraso acumulado de 388,2 dias. O tempo necessário para a realização das 28 tarefas atrasadas, conforme exposto acima, será de 54,25 dias. O elevado índice de atrasos se dá em função do desbalanceamento durante o processo de alocação que se deu de forma manual. Como já era de se esperar, os recursos indicados no Quadro 7, são os mesmos recursos que estão com maior índice de alocação, conforme pode se verificar na Figura 16 que apresenta o gráfico de alocação por meio do processo manual.

Através da Figura 18, observa-se os tempos médios que cada recurso utilizou para a realização de suas tarefas, comparando os dois métodos. O desbalanceamento na alocação das tarefas fica evidente também através desta análise.

Figura 18 – Tempos médios por recurso



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

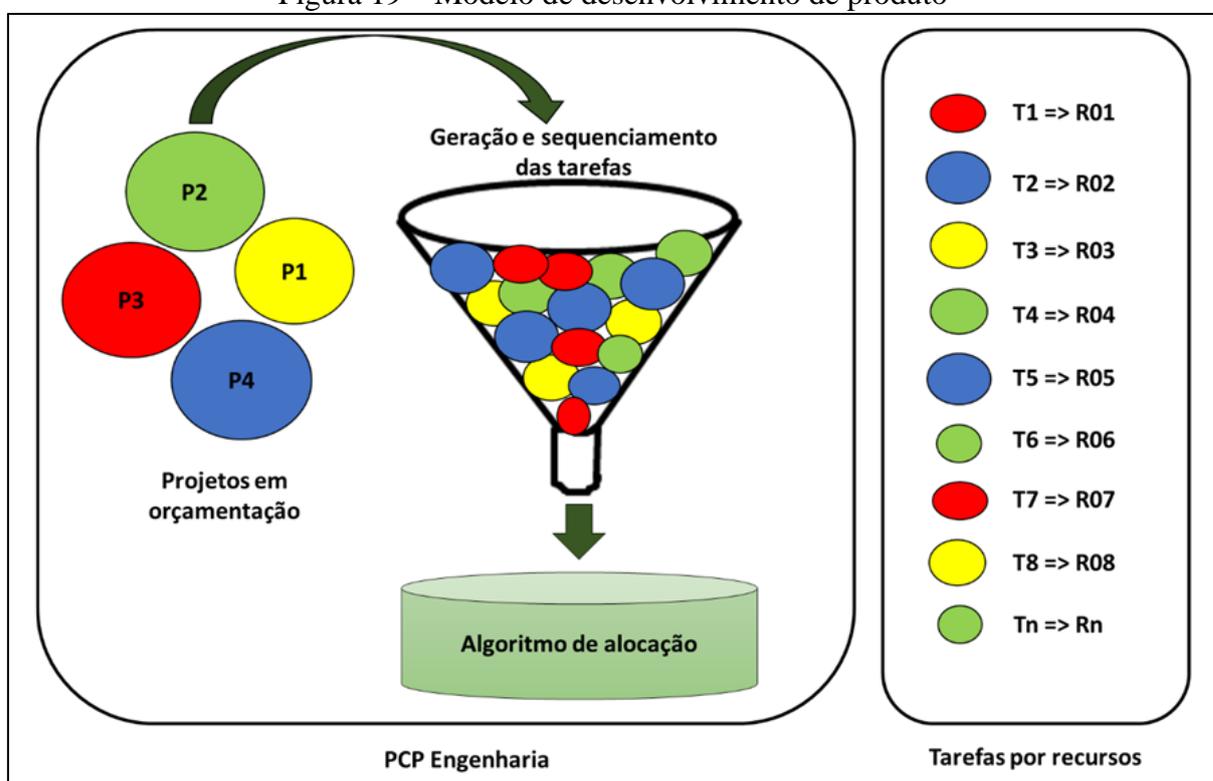
Os tempos médios pelo método de alocação manual ficou em 3,67 com um desvio padrão de 4,43. Já por meio do emprego do Algoritmo Genético, a média de alocação ficou em 2,89 com desvio padrão de 1,52. Tais dados ajudam a explicar os atrasos relacionados ao processo de alocação manual, bem como a relação de estrutura verticalizada que a empresa tem para este setor, dada o alto desvio padrão entre um recurso e outro.

Isso mostra que de fato o método de alocação manual não é efetivo, uma vez que para alocar um alto número de tarefas para um número de recursos, levando em consideração a data de entrega de cada tarefa, além da priorização por parte dos projetos, não é uma tarefa simples. Já o algoritmo, por meio de penalizações para recursos que não conseguem entregar suas tarefas no prazo, e levando em consideração os que conseguem desempenhar a função com

maior rapidez, faz com que através de um balanceamento adequado seja possível evitar o atraso durante o desenvolvimento de projetos dentro do setor de engenharia.

Na Figura 19, está representado o novo método proposto, que tem por objetivo minimizar os tempos de entrega dos projetos através da otimização na alocação dos recursos, bem como uma ferramenta de apoio na tomada de decisão na estimação do prazo de entrega para um determinado pedido. Isso porque, dada a velocidade com que o algoritmo encontra uma solução boa, torna-se possível a verificação ainda antes do fechamento do pedido de venda a fim de ou reduzir prazo de entrega ou ainda estipular uma data mais precisa.

Figura 19 – Modelo de desenvolvimento de produto



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Importante ressaltar que é na etapa da geração e sequenciamento das tarefas que serão definidas as prioridades de entrega dos projetos, uma vez que o algoritmo não trata essa questão. Cabe aqui, ao coordenador de projeto ou gerente de engenharia, junto à estratégia definida pela empresa, definir quais os projetos que deverão ser desenvolvidos primeiro.

Após a alocação das tarefas por meio do algoritmo, poderá ocorrer de determinada tarefa de um projeto ficar em espera por um período, muito em função de não haver um recurso disponível naquele momento. A priori, isso não é um problema, tendo em vista que o algoritmo leva em consideração a minimização quanto ao cumprimento de todas as tarefas.

## 4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme verificado no referencial teórico do trabalho, no que diz respeito ao gerenciamento de projetos, o PMI (2013) afirma que para alcançar o sucesso no desempenho das atividades de gerenciamento dos projetos se faz necessário o emprego de processos concretos e sistemáticos. Tal afirmativa corrobora com o desenvolvimento do trabalho, uma vez que através da aplicação da metodologia desenvolvida, buscou-se a eliminação de um processo aleatório em uma etapa do gerenciamento do projeto, para a implantação de um processo sistemático por meio do emprego de um algoritmo de designação de tarefas, levando em consideração a melhor eficiência para a empresa, e conseqüentemente o método de gerenciamento.

Com relação ao gerenciamento de portfólio de produtos, Davidovitch *et al* (2010) afirmam que empresas que trabalham sob a ótica de múltiplos projetos atuam com uma estrutura matricial, com características híbridas presentes tanto em estruturas funcionais bem como em estruturas dedicadas a projetos. Porém, o setor da empresa onde se pretende implantar a nova metodologia apresenta uma estrutura funcional, com o desenvolvimento de especialistas em determinadas áreas. O que ficou evidente no entanto, com a aplicação da nova metodologia, é que com o passar do tempo, a tendência é fazer com que o setor mude também para uma estrutura híbrida, onde mais recursos estarão envolvidos em um maior número de atividades, não se restringindo a suas especialidades à medida que forem tendo tempo disponível para isso, o que nivelará a equipe de projeto como um todo.

O PMI (2013) também afirma que o nivelamento de recursos pode ser usado quando recursos requeridos são compartilhados, quando estão disponíveis em apenas certos momentos, quando os recursos são escassos ou estão sobrecarregados. No entanto, conforme pôde ser visto, com o atual método de gerenciamento, existem recursos superdimensionados e outros não. Entretanto, essa problemática passa a ser resolvida uma vez que o algoritmo de alocação consegue balancear a distribuição de tarefas de forma adequada.

Para o problema de alocação de tarefas com múltiplos projetos, conforme pôde ser verificado, existe uma série de abordagens relacionadas com o tema, que de fato é o problema que ocorre na empresa onde se aplica o presente trabalho. Autores como Kim *et al* (2005), Gonçalves *et al.* (2008), Valls *et al.* (2008), Browning e Yassine (2010) e Dong *et al* (2012) desenvolveram trabalhos aplicados na área de gerenciamento de projetos. Dentre os autores abordados, Kim *et al* (2005) e Dong *et al* (2012) propuseram um Algoritmo Genético com regras

de precedência para a realização das atividades. Tais trabalhos podem servir de modelos para a confecção de trabalhos futuros na empresa objeto de estudo, uma vez que o método desenvolvido para alocação de tarefas não considera a ordem de precedência entre as atividades.

### 4.3 IMPLICAÇÕES GERENCIAIS

Tendo em vista os resultados obtidos na comparação da alocação de tarefas pelo modo tradicional e o novo exemplificado no trabalho, percebe-se ganhos significativos quanto ao novo método proposto no que tange ao setor de Engenharia de Aplicação. Conforme pode ser verificado no Capítulo 1.4, o setor hoje conta com um atraso de 60% e um método, conforme foi descrito e analisado através da comparação dos resultados, pode vir a auxiliar na resolução desta problemática.

Não somente o setor de engenharia passa a ganhar com a adoção dessa nova estratégia. Com a possibilidade de verificação do tempo necessário gasto pela engenharia através de um modelo otimizado, poderá ainda antes mesmo do fechamento do pedido de venda, utilizar esses dados para a tomada de decisão no que diz respeito ao prazo de entrega aos clientes. Com isso, surge a possibilidade de fechar novos negócios, ou mesmo do adiamento de um possível pedido que a engenharia não tenha capacidade para sua realização.

O PCP é outro setor que passa a ganhar com uma metodologia como essa. Hoje o setor define a data com que a engenharia deveria entregar suas tarefas, porém, dado o alto índice de atraso com que a Engenharia de Aplicação apresenta no cumprimento de seus prazos, se torna impossível de praticar um planejamento adequado para os setores posteriores que dependem desse processo. Gera-se, com isso, reuniões semanais a fim de tentar compensar os atrasos da engenharia, reprogramando datas de entrega, rotineiramente.

Também, o setor de compras, com um planejamento adequado e com prazo para a busca de melhores oportunidades, irá se beneficiar do novo modelo proposto. Hoje, o setor enfrenta dificuldade, visto que, dado o atraso liberado pela engenharia, e o PCP percebendo que a fábrica não terá capacidade para sua produção, terceiriza os itens na tentativa do cumprimento daquilo que foi prometido aos clientes, tarefa esta, atribuída ao setor de compras. Dessa forma, as tratativas com os fornecedores ficam comprometidas e os pedidos são gerados para aqueles que têm disponibilidade em atender um prazo já comprometido, o que aumenta também o custo do produto.

A fábrica, por conseguinte, contemplando a manufatura e a montagem, é um dos setores que mais sofre em função disso, visto que a montagem é a última etapa do processo antes da expedição ao cliente. Como os prazos nesse momento já estão comprometidos, é necessário um esforço enorme na tentativa de compensar aquilo tudo que foi perdido no decorrer dos processos anteriores, e, mesmo assim, a maioria dos projetos da empresa acabam sendo expedidos após a data acordada com o cliente, gerando uma insatisfação por parte dos que tentam atender a tal expectativa, mas principalmente por parte dos clientes.

Se considerarmos o custo hora da engenharia da empresa, que gira em torno de R\$ 70,00, e levando em consideração que o *lead time* de entrega de todas as tarefas, presumindo-se que o projeto está concluído pela Engenharia de Aplicação após a conclusão das mesmas, a redução de 89,75 dias para 57,25 representaria para a empresa uma economia de R\$ 19.223,75, isso para um período de 3 meses, ou aproximadamente R\$ 76.895,00 anuais.

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente trabalho deixou evidente o quanto um modelo para a alocação de tarefas no ambiente de múltiplos projetos pode auxiliar a empresa, principalmente o setor de Engenharia de Aplicação no desenvolvimento otimizado de suas atividades. Através das análises dos resultados, pode-se perceber os impactos financeiros e estratégicos que a adoção da metodologia proposta pode alcançar.

O trabalho teve como objetivo geral desenvolver um modelo para a alocação de tarefas no ambiente de múltiplos projetos em uma empresa fabricante de máquinas e equipamentos, a fim de proporcionar um maior controle e um melhor desempenho nas atividades realizadas dentro do setor de Engenharia de Aplicação. Para isso, com a ajuda dos *softwares Excel e matlab*, foi implementado um algoritmo que pudesse fazer com que esse processo fosse realizado de forma automática e otimizada. Tal sistemática foi comparada com o método atual de designação de tarefas e mostrou que tal ferramenta pode ser efetiva, tanto no apoio à tomada de decisão em etapas anteriores ao setor onde foi desenvolvido o método, como no processo de alocação de tarefas em si dentro da Engenharia.

Sendo assim, o trabalho foi organizado em quatro objetivos específicos a fim de sistematizar a realização do trabalho. Quanto ao primeiro objetivo, pode-se dizer que o mesmo foi realizado, uma vez que a atual sistemática realizada na empresa, onde as tarefas alocadas para cada recurso são macros, não favorece a implementação de um algoritmo de designação. Para tanto, as tarefas do projeto do estudo de caso em questão foram subdivididas o que resultou no total de 221 atividades para um período de projeto de 3 meses.

Quanto ao segundo objetivo, foram coletados os tempos junto aos recursos, levando também em consideração a aptidão que cada um tem para a realização de determinada tarefa. Conforme pode-se perceber, existe uma diferença significativa entre o número de tarefas que cada recurso é apto a realizar, bem como o tempo que cada recurso leva para a execução de determinada tarefa. Isso se deve ao fato da empresa adotar uma estratégia de estrutura funcional, onde tende a tornar seus recursos especialistas naquilo que fazem e não uma estrutura horizontalizada, onde poderia ter um maior número de recursos aptos à realização de tarefas, bem como um tempo de execução mais próximo.

Com relação ao terceiro objetivo, com base nos tempos levantados de acordo com a capacidade de cada recurso, o algoritmo implementado mostrou-se capaz de atender à necessidade da empresa. Ainda, surge a oportunidade de usar o algoritmo de alocação em uma

etapa anterior à execução do projeto, etapa de finalização da venda, dada sua velocidade na geração dos cenários, possibilitando com isso o comprometimento junto aos clientes de prazos aceitáveis, ou mesmo a possibilidade de novos pedidos.

Quanto ao quarto objetivo, a comparação entre os cenários de alocação de tarefas atual e aquele por meio do algoritmo, ficou evidente o quanto o novo método consegue gerar resultados superiores. Além do tempo total para o desenvolvimento das tarefas ser inferior comparando os dois métodos, conseguiu-se também diminuir o *lead time* da entrega das tarefas, bem como eliminar os atrasos. Ainda, comparando os dois métodos, foi possível perceber que o tempo médio para a realização das tarefas também sofre uma queda significativa, além de nivelar os tempos entre os recursos.

Tendo em vista os pontos levantados no decorrer do trabalho, verifica-se a possibilidade da utilização do mesmo para estudos futuros, uma vez que não foram contemplados todos os aspectos possíveis para a obtenção de resultados ainda mais significativos e próximos da realidade da empresa. Sendo assim, salientasse alguns pontos importantes que podem ser aprofundados e implementados com a evolução do presente estudo.

Dentre as possibilidades, está o sequenciamento das atividades por meio do algoritmo, processo este que continuará sendo executado pelo coordenador da engenharia. Com o sequenciamento da forma como ficou estipulado no trabalho, poderá ocorrer de determinada tarefa ser realizada depois de uma outra que obrigatoriamente deveria ser sua predecessora. Pelo fato de o algoritmo não tratar essa questão, ficará a critério do coordenador ou rodar o algoritmo novamente a fim de se obter uma nova solução, ou encontrar um meio de postergar a tarefa para a realização da sua predecessora.

Outra questão que poderá ser desenvolvida é o apontamento do tempo que cada projetista gasta em cada atividade. Como os tempos foram levantados por meio de entrevistas, não necessariamente irão condizer com aquilo que for executado na prática. Sendo assim, implantar um método de apontamento, além de aferir os dados da tabela de tarefas  $\times$  tempos de recursos, permitirá ao coordenador ter um controle mais preciso do que está acontecendo dentro do setor. Comparando o tempo apontado com o tempo estipulado, o coordenador poderá tomar medidas preventivas quanto ao cumprimento do cronograma como um todo.

Ainda, por meio do algoritmo, surge um aspecto muito difundido nos dias atuais. Atuar com equipes de engenharia simultânea, capazes de desenvolverem diversos tipos de atividades. Isso irá proporcionar um nivelamento da equipe de trabalho, além de proporcionar a geração de conhecimento integrado, uma vez que todos os recursos saberão o que estará acontecendo nas

diversas etapas para a entrega de um projeto. Hoje é comum na empresa, em função da sua estrutura funcional dentro do setor, não haver uma disseminação do conhecimento gerado, o que gera perda de tempo, uma vez que um recurso, por vezes, desenvolve uma solução que outro recurso já tenha desenvolvido.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, N. O. **Gerenciamento de portfólio**: Alinhando o gerenciamento de projetos à estratégia da empresa e definindo sucesso e métricas em projetos. Rio de Janeiro: Brasport, 2011.
- ÁVILA, S. L. **Algoritmos Genéticos aplicados na otimização de antenas parabólicas**. Dissertação de mestrado, 98.p, UFSC, 2002.
- BADEWI, A. The impact of project management (PM) and benefits management (BM) practices on project success: Towards developing a project benefits governance framework. **International Journal of Project Management**, 2015.
- BARCAUI, André B. **PMO: Escritórios de Projetos, Programas e Portfólio na prática**. Rio de Janeiro: Brasport, 2012.
- BELOUT, Adnane; GAUVREAU, Clothilde. Factors influencing project success: the impact of human resource management. **International journal of project management**, v. 22, n. 1, p. 1-11, 2004.
- BENTO, E. P.; KAGAN, N. Algoritmos genéticos e variantes na solução de problemas de configuração de redes de distribuição. **Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica**, Project Management Vocabulary. [S.I.]: British Standards Institution, 2000.
- BROWNING, T. R.; YASSINE, A. A. Resource-constrained multi-project scheduling: Priority rule performance revisited. **International Journal of Production Economics**, 2010.
- BRUCKER, Peter et al. Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. **European journal of operational research**, v. 112, n. 1, p. 3-41, 1999.
- BSI. BS 6079-2:2000. Project Management Vocabulary. [S.I.]: **British Standards Institution**, 2000. Mentioned on page 22.
- CELKEVICIUS, Roberto; BIANCOLINO, César Augusto. **Study of Resource Allocation and Leveling in Projects via Case Studies: A Systematic Literature Review**. 12th CONTECSI-FEA-USP, 2015.
- CHEN, Shih-Ming et al. Simulation and analytical techniques for construction resource planning and scheduling. **Automation in construction**, v. 21, p. 99-113, 2012.
- COOKE-DAVIES, T. The “real” success factors on projects. **International journal of project management**, Elsevier, v. 20, n. 3, p. 185–190, 2002.
- COOPER, Robert G. Winning at new products: pathways to profitable innovation. In: **Proceedings Project Management Research Conference**, Montreal, Canada. 2006.
- DAVIDOVITCH, L.; PARUSH, A.; SHTUB, A. Simulator-based team training to share resources in a matrix structure organization. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 57, n. 2, p. 288-300, may 2010.
- DANILOVIC, M.; SANDKULL, B. The use of dependence structure matrix and domain

mapping matrix in managing uncertainty in multiple project situations. **International Journal of Project Management**, v. 23, n. 3, p. 193-203, apr. 2005.

DEMEULEMEESTER, Erik L.; HERROELEN, Willy S. An efficient optimal solution procedure for the preemptive resource-constrained project scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, v. 90, n. 2, p. 334-348, 1996.

DINSMORE, Paul C.; CABANIS-BREWEN, JEANNETTE. **AMA-Manual de Gerenciamento de Projetos**. Brasport, 2009.

DOMBROWSKI, U.; ZAHN, T. Design of a lean development framework. In: **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, art. n. 6118249, p. 1917-1921, 2011.

DONG, Ning et al. A genetic algorithm-based method for look-ahead scheduling in the finishing phase of construction projects. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 4, p. 737-748, 2012.

ENGWALL, Mats; JERBRANT, Anna. The resource allocation syndrome: the prime challenge of multi-project management?. **International journal of project management**, v. 21, n. 6, p. 403-409, 2003.

FERNANDES, A.M.R. **Inteligência Artificial: noções gerais**. 2 imp. Florianópolis: Visual Books, 2005.

GONÇALVES, José Fernando; MENDES, Jorge JM; RESENDE, Mauricio GC. A genetic algorithm for the resource constrained multi-project scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, v. 189, n. 3, p. 1171-1190, 2008.

HARTMANN, Sönke. A competitive genetic algorithm for resource-constrained project scheduling. **Naval Research Logistics (NRL)**, v. 45, n. 7, p. 733-750, 1998.

HARTMANN, Sönke. A self-adapting genetic algorithm for project scheduling under resource constraints. **Naval Research Logistics (NRL)**, v. 49, n. 5, p. 433-448, 2002.

HAZIR, Öncü. A review of analytical models, approaches and decision support tools in project monitoring and control. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 4, p. 808-815, 2015.

HEGAZY, Tarek; MENESI, Wail. Critical path segments scheduling technique. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 10, p. 1078-1085, 2010.

HERM, Steffen. When things go wrong, don't rely on committed consumers: effects of delayed product launches on brand trust. **Journal of Product Innovation Management**, v. 30, n. 1, p. 70-81, 2013.

HERROELEN, W. Project scheduling - Theory and practice. **Production and Operations Management**. v. 14, n. 4, p. 413-432, 2005.

HOLLAND, John H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence. **Ann Arbor, MI: University of**

**Michigan Press**, p. 439-444, 1975.

HUANG, Hsiang-Hsi; SHIU, Jia-Chen; CHEN, Tai-Lin. The Project Scheduling and Decision Mechanism Based on the Multi-Resource Leveling. In: **2011 International Conference on Engineering, Project and Production Management**. 2011.

JOSLIN, Robert; MÜLLER, Ralf. Relationships between a project management methodology and project success in different project governance contexts. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 6, p. 1377-1392, 2015.

JUNG, Y.; KANG, S. Knowledge-based standard progress measurement for integrated cost and schedule performance control. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 133, n. 1, p. 10-21, jan. 2007.

KANG, Changmuk; HONG, Yoo S. Evaluation of acceleration effect of dynamic sequencing of design process in a multiproject environment. **Journal of Mechanical Design**, v. 131, n. 2, p. 021008, 2009.

KASTOR, A.; SIRAKOULIS, K. The effectiveness of resource levelling tools for resource constraint project scheduling problem. **International Journal of Project Management**, v. 27, n. 5, p. 493-500, 2009.

KENDALL, G. I., ROLLINS, S. C. **Advanced Project Portfolio Management and the PMO: Multiplying ROI at warp speed**. Boca Raton: J.Ross Publishing, 2003.

KERZNER, H. R. et al. **Project Management-Best Practices: Achieving Global Excellence**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2010. v. 14.

KIM, KwanWoo et al. Hybrid genetic algorithm with adaptive abilities for resource-constrained multiple project scheduling. **Computers in industry**, v. 56, n. 2, p. 143-160, 2005.

KOLISCH, Rainer; HARTMANN, Sönke. Heuristic algorithms for the resource-constrained project scheduling problem: Classification and computational analysis. In: **Project scheduling**. Springer US, 1999. p. 147-178.

KOLISCH, Rainer; HARTMANN, Sönke. Experimental investigation of heuristics for resource-constrained project scheduling: An update. **European journal of operational research**, v. 174, n. 1, p. 23-37, 2006.

KOLISCH, Rainer; PADMAN, Rema. An integrated survey of deterministic project scheduling. **Omega**, v. 29, n. 3, p. 249-272, 2001.

LEE, Zee Woon; FORD, David N.; JOGLEKAR, Nitin. Effects of resource allocation policies for reducing project durations: a systems modelling approach. **Systems Research and Behavioral Science**, v. 24, n. 6, p. 551-566, 2007.

LENSTRA, J. K.; RINNOOY KAN, A. H. G. Complexity of Scheduling under Precedence Constraints. **Operations Research**. v. 26, n. 1, p. 22-35, 1978.

LESTER, A. **Project management, planning and control: Managing engineering, construction and manufacturing projects to PMI, APM and BSI standards**. 6. ed. [S.l.]: Butterworth–Heinemann. P. 13,14,22,23, e 41, 2014

MAJAVA, Jukka et al. Product development drivers in literature and practice. **International Journal of Product Development**, v. 18, n. 6, p. 512-530, 2013.

MEREDITH, Jack R.; MANTEL JR, Samuel J. **Project management: a managerial approach**. John Wiley & Sons, 2011.

MIR, F. A.; PINNINGTON, A. H. Exploring the value of project management: linking project management performance and project success. **International Journal of Project Management**, Elsevier, v. 32, n. 2, p. 202–217, 2014.

MOELLMANN, Artur Henrique. **Modelo enxuto de gerenciamento multiprojetos baseado na corrente crítica**. 2013. Tese de Doutorado.

NGO-THE, An; RUHE, Günther. Optimized resource allocation for software release planning. *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 35, n. 1, p. 109-123, 2009.

MAJUMDAR, J.; BHUNIA, A.K. **An alternative approach for unbalanced assignment problem via genetic algorithm**. *Applied Mathematics and Computation*. v. 218, p. 6934–6941, 2012.

MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. In: CAUCHICK MIGUEL, P. A. (Org.), **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. São Paulo: Editora Campus, 2012.

PENNYPACKER, James S.; DYE, Lowell D. Project portfolio management and managing multiple projects: two sides of the same coin. **Managing multiple projects**, p. 1-10, 2002.

PMI. **A Guide to Project Management Body of Knowledge – PMBoK**, 2013.

RODRIGUES, L. B., VIEIRA, F. B. P., AGUSTINI, E. **O Método Húngaro de Otimização para o Problema da Alocação de Tarefas**. *Revista eletrônica da FAMAT*, p. 25-39, 2005.

ROMANO, Leonardo Nabaes et al. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. 2003.

SCHWALBE, Kathy. **Information technology project management**. Cengage Learning, 2015.

TASAN, Seren Oz Mehmet; GEN, Mitsuo. An integrated selection and scheduling for disjunctive network problems. **Computers & Industrial Engineering**, v. 65, n. 1, p. 65-76, 2013.

VALLS, Vicente; BALLESTIN, Francisco; QUINTANILLA, Sacramento. A hybrid genetic algorithm for the resource-constrained project scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, v. 185, n. 2, p. 495-508, 2008.

VARGAS, Ricardo Viana. **Gerenciamento de Projetos (8ª Edição): Estabelecendo diferenciais competitivos**. Brasport, 2016.

YANG, Shanlin; FU, Lei. Critical chain and evidence reasoning applied to multi-project resource schedule in automobile R&D process. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 1, p. 166-177, 2014.

YASSINE, Ali A.; MOSTAFA, Omar; BROWNING, Tyson R. Scheduling multiple, resource-constrained, iterative, product development projects with genetic algorithms. **Computers & Industrial Engineering**, v. 107, p. 39-56, 2017.

## APÊNDICE A – BANCO DE DADOS COMPLETO

| MODELO       | TIPO DE PROJETO | TAREFA             | DATA ENTREGA | DIAS ÚTEIS | RECURSOS / TEMPO |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|-----------------|--------------------|--------------|------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|              |                 |                    |              |            | R01              | R02 | R03 | R04 | R05 | R06 | R07 | R08 | R09 | R10 |
| MEF 415      | ADAPTATIVO      | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 90         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEG 20/1     | ADAPTATIVO      | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 66         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEG 40/40/12 | ADAPTATIVO      | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 66         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEI 10/12/4  | ADAPTATIVO      | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 90         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEI 15/18/6  | ADAPTATIVO      | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 82         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEI 30/30/10 | ADAPTATIVO      | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 89         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEI 40/40/10 | ADAPTATIVO      | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 66         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| METT         | ADAPTATIVO      | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 94         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MLG 6        | ADAPTATIVO      | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 66         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MRB 1201     | ADAPTATIVO      | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 87         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MRB 1201H    | ADAPTATIVO      | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 66         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MRB 2001     | ADAPTATIVO      | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 90         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MTF 4        | ADAPTATIVO      | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 82         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEG 50/60/15 | APERFEIÇOADO    | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 86         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG 8/10/3   | APERFEIÇOADO    | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 66         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEPT         | APERFEIÇOADO    | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 93         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MPF 122      | APERFEIÇOADO    | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 66         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MRA          | APERFEIÇOADO    | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 87         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MRA H        | APERFEIÇOADO    | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 66         | 1e6              | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MTT R2       | ADAPTATIVO      | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 90         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MCR D        | INOVADOR        | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 82         | 1e6              | 1   | 1e6 |
| MCR P        | INOVADOR        | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 86         | 1e6              | 1   | 1e6 |
| MDA BC       | INOVADOR        | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 66         | 1e6              | 1   | 1e6 |
| MEG E 16/16  | INOVADOR        | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 93         | 1e6              | 1   | 1e6 |
| MEG E 8/10/3 | INOVADOR        | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 66         | 1e6              | 1   | 1e6 |
| MCC 6        | PADRÃO          | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 87         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEN M        | PADRÃO          | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 66         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEP 1200     | PADRÃO          | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 90         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MET          | PADRÃO          | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 82         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MET          | PADRÃO          | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 65         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MLG E5       | PADRÃO          | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 86         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MLG M        | PADRÃO          | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 66         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MTT E1200    | PADRÃO          | 01_ADESIVOS        | 05/09/18     | 93         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEG 20/1     | ADAPTATIVO      | 02_ENCLAUSURAMENTO | 04/09/18     | 86         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEG 40/40/12 | ADAPTATIVO      | 02_ENCLAUSURAMENTO | 30/08/18     | 66         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEI 10/12/4  | ADAPTATIVO      | 02_ENCLAUSURAMENTO | 30/08/18     | 93         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEI 15/18/6  | ADAPTATIVO      | 02_ENCLAUSURAMENTO | 30/08/18     | 66         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEI 30/30/10 | ADAPTATIVO      | 02_ENCLAUSURAMENTO | 30/08/18     | 87         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MEI 40/40/10 | ADAPTATIVO      | 02_ENCLAUSURAMENTO | 30/08/18     | 66         | 1e6              | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |

|                   |             |                       |          |    |          |     |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-------------------|-------------|-----------------------|----------|----|----------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| MTF 4             | ADAPTATIVO  | 02_ENCLAUSURAMENTO    | 05/09/18 | 66 | 1e6      | 0.1 | 1e6      | 0.1      | 0.1      | 1e6      | 0.1      | 1e6      | 1e6      | 0.1      |
| MEG 50/60/15      | APERFEIÇADO | 02_ENCLAUSURAMENTO    | 03/09/18 | 90 | 1e6      | 2   | 1e6      |
| MEG 8/10/3        | APERFEIÇADO | 02_ENCLAUSURAMENTO    | 30/08/18 | 66 | 1e6      | 2   | 1e6      |
| MEG E 16/16       | INOVADOR    | 02_ENCLAUSURAMENTO    | 04/09/18 | 66 | 1e6      | 5   | 1e6      |
| MEG E 8/10/3      | INOVADOR    | 02_ENCLAUSURAMENTO    | 04/09/18 | 90 | 1e6      | 5   | 1e6      |
| MEG 50/60/15      | APERFEIÇADO | 03_PROJETO CONCEITUAL | 25/07/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 1        | 1        | 1e6      | 1        | 1e6      | 1        | 1e6      |
| MEG 8/10/3        | APERFEIÇADO | 03_PROJETO CONCEITUAL | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 1        | 1        | 1e6      | 1        | 1e6      | 1        | 1e6      |
| MEPT              | APERFEIÇADO | 03_PROJETO CONCEITUAL | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1        | 1        | 1        | 1e6      | 1        | 1e6      | 1        | 1e6      |
| MPF 122           | APERFEIÇADO | 03_PROJETO CONCEITUAL | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 1e6      | 3        | 1e6      | 3        | 3        | 1e6      | 1e6      |
| MRA               | APERFEIÇADO | 03_PROJETO CONCEITUAL | 02/08/18 | 66 | 3        | 1e6 | 3        | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 3        | 1e6      | 1e6      |
| MRA H             | APERFEIÇADO | 03_PROJETO CONCEITUAL | 02/08/18 | 66 | 2        | 1e6 | 2        | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 2        | 1e6      | 1e6      |
| MCR D             | INOVADOR    | 03_PROJETO CONCEITUAL | 01/08/18 | 66 | 4        | 1e6 | 5        | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 5        | 1e6      | 1e6      |
| MCR P             | INOVADOR    | 03_PROJETO CONCEITUAL | 11/07/18 | 90 | 3        | 1e6 | 3        | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 4        | 1e6      | 1e6      |
| MDA BC            | INOVADOR    | 03_PROJETO CONCEITUAL | 02/08/18 | 65 | 2        | 1e6 | 2        | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 2        | 1e6      | 1e6      |
| MDL               | INOVADOR    | 03_PROJETO CONCEITUAL | 02/08/18 | 89 | 1e6      | 1e6 | 2        | 2        | 1e6      | 1e6      | 2        | 1e6      | 2        | 1e6      |
| MEA               | INOVADOR    | 03_PROJETO CONCEITUAL | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 5        | 1e6      | 1e6      |
| MEG E 16/16       | INOVADOR    | 03_PROJETO CONCEITUAL | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 3        | 3        | 1e6      | 3        | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEG E 8/10/3      | INOVADOR    | 03_PROJETO CONCEITUAL | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 3        | 3        | 1e6      | 3        | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEF 415           | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 90 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MEG 20/1          | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 82 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MEG 40/40/12      | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 65 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MEI 10/12/4       | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 86 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MEI 15/18/6       | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MEI 30/30/10      | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MEI 40/40/10      | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| METT              | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 93 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MLG 6             | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MRB 1201          | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 87 | 0.2<br>5 | 1e6 | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      |
| MRB 1201H         | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 66 | 0.2<br>5 | 1e6 | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      |
| MRB 2001          | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 90 | 0.2<br>5 | 1e6 | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      |
| MTE 12 1M-5M      | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 13/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      |
| MTE 12 5M-10M     | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 13/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 1e6      |
| MTE 3.1/4 10M-20M | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 13/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1        | 1e6      | 1e6      | 1        | 1e6      |
| MTE 3.1/4 1M-5M   | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 13/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 1e6      |
| MTE 3.1/4 20M+    | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 13/08/18 | 90 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 2        | 1e6      | 1e6      | 2        | 1e6      |
| MTE 3.1/4 5M-10M  | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 13/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 1e6      |
| MTE 400R 1M-5M    | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 13/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      |
| MTE 400R 5M-10M   | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 13/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      |
| MTE 7.1/2 1M-5M   | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 13/08/18 | 71 | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 1e6      |

|                  |             |                       |          |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------|-------------|-----------------------|----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| MTE 7.1/2 5M-10M | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 13/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1   | 1e6 | 1e6 | 1   | 1e6 |
| MEG 50/60/15     | APERFEIÇADO | 04_MOTOREDUTOR        | 25/07/18 | 87 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 0.5 | 1e6 | 0.5 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG 8/10/3       | APERFEIÇADO | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 90 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 0.5 | 1e6 | 0.5 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEPT             | APERFEIÇADO | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1e6 | 0.5 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MPF 122          | APERFEIÇADO | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 1e6 | 1e6 |
| MRA              | APERFEIÇADO | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 66 | 0.5 | 1e6 | 0.5 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 1e6 | 1e6 |
| MRA H            | APERFEIÇADO | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 71 | 0.5 | 1e6 | 0.5 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 1e6 | 1e6 |
| MTT R2           | ADAPTATIVO  | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 0.5 | 1e6 | 0.5 | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MCR D            | INOVADOR    | 04_MOTOREDUTOR        | 19/07/18 | 90 | 2   | 1e6 | 2   | 1e6 |
| MCR P            | INOVADOR    | 04_MOTOREDUTOR        | 19/07/18 | 66 | 2   | 1e6 | 2   | 1e6 |
| MDA BC           | INOVADOR    | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 66 | 2   | 1e6 | 2   | 1e6 |
| MDL              | INOVADOR    | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1   | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16      | INOVADOR    | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 71 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1   | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 8/10/3     | INOVADOR    | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1   | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEN M            | PADRÃO      | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 90 | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 0.1 |
| MEP 1200         | PADRÃO      | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 66 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 0.1 | 1e6 | 0.1 |
| MET              | PADRÃO      | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 66 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 0.1 |
| MLG E5           | PADRÃO      | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 90 | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 0.1 |
| MLG M            | PADRÃO      | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 65 | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 0.1 |
| MTT E1200        | PADRÃO      | 04_MOTOREDUTOR        | 02/08/18 | 65 | 0.1 | 1e6 | 0.1 | 0.1 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.1 | 1e6 | 0.1 |
| MEI 15/18/6      | ADAPTATIVO  | 05_BOMBA              | 01/08/18 | 87 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.2 | 0.2 | 5   | 0.2 | 5   | 1e6 | 0.2 |
| MEG 8/10/3       | APERFEIÇADO | 05_BOMBA              | 01/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.2 | 0.2 | 5   | 0.2 | 5   | 1e6 | 0.2 |
| MEG E 16/16      | INOVADOR    | 05_BOMBA              | 01/08/18 | 90 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.2 | 0.2 | 5   | 0.2 | 5   | 1e6 | 0.2 |
| MEG E 8/10/3     | INOVADOR    | 05_BOMBA              | 01/08/18 | 82 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.2 | 0.2 | 5   | 0.2 | 5   | 1e6 | 0.2 |
| MTE 3.1/4 20M+   | ADAPTATIVO  | 06_PROJETO PRELIMINAR | 13/08/18 | 90 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 7   | 1e6 | 1e6 | 7   | 1e6 |
| MEG 50/60/15     | APERFEIÇADO | 06_PROJETO PRELIMINAR | 25/07/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 4   | 6   | 1e6 | 4   | 1e6 | 8   | 1e6 |
| MEG 8/10/3       | APERFEIÇADO | 06_PROJETO PRELIMINAR | 02/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 4   | 6   | 1e6 | 4   | 1e6 | 8   | 1e6 |
| MEPT             | APERFEIÇADO | 06_PROJETO PRELIMINAR | 02/08/18 | 90 | 1e6 | 1e6 | 4   | 3   | 4   | 1e6 | 3   | 1e6 | 4   | 1e6 |
| MPF 122          | APERFEIÇADO | 06_PROJETO PRELIMINAR | 02/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 12  | 1e6 | 11  | 12  | 1e6 | 1e6 |
| MRA              | APERFEIÇADO | 06_PROJETO PRELIMINAR | 02/08/18 | 66 | 11  | 1e6 | 11  | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 12  | 1e6 | 1e6 |
| MRA H            | APERFEIÇADO | 06_PROJETO PRELIMINAR | 02/08/18 | 90 | 12  | 1e6 | 12  | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 13  | 1e6 | 1e6 |
| MCR D            | INOVADOR    | 06_PROJETO PRELIMINAR | 01/08/18 | 66 | 27  | 1e6 | 30  | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 32  | 1e6 | 1e6 |
| MCR P            | INOVADOR    | 06_PROJETO PRELIMINAR | 11/07/18 | 66 | 18  | 1e6 | 20  | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 22  | 1e6 | 1e6 |
| MDA BC           | INOVADOR    | 06_PROJETO PRELIMINAR | 02/08/18 | 66 | 13  | 1e6 | 12  | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 13  | 1e6 | 1e6 |
| MDL              | INOVADOR    | 06_PROJETO PRELIMINAR | 02/08/18 | 90 | 1e6 | 1e6 | 12  | 12  | 1e6 | 1e6 | 12  | 1e6 | 12  | 1e6 |
| MEA              | INOVADOR    | 06_PROJETO PRELIMINAR | 02/08/18 | 90 | 1e6 | 26  | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16      | INOVADOR    | 06_PROJETO PRELIMINAR | 02/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 18  | 24  | 1e6 | 18  | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 8/10/3     | INOVADOR    | 06_PROJETO PRELIMINAR | 02/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 18  | 24  | 1e6 | 18  | 1e6 | 1e6 | 1e6 |
| MTE 3.1/4 20M+   | ADAPTATIVO  | 07_PROJETO DETALHADO  | 13/08/18 | 94 | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 3   | 4   | 4   | 3   | 1e6 |
| MEG 50/60/15     | APERFEIÇADO | 07_PROJETO DETALHADO  | 25/07/18 | 66 | 4   | 4   | 4   | 2   | 3   | 4   | 2   | 4   | 3   | 1e6 |
| MEG 8/10/3       | APERFEIÇADO | 07_PROJETO DETALHADO  | 02/08/18 | 87 | 4   | 4   | 4   | 2   | 3   | 4   | 2   | 4   | 3   | 1e6 |

|                   |             |                         |          |    |          |          |          |          |          |     |          |          |     |          |
|-------------------|-------------|-------------------------|----------|----|----------|----------|----------|----------|----------|-----|----------|----------|-----|----------|
| MEPT              | APERFEIÇADO | 07_PROJETO<br>DETALHADO | 02/08/18 | 66 | 3        | 3        | 2        | 1        | 2        | 3   | 1        | 3        | 2   | 1e6      |
| MPF 122           | APERFEIÇADO | 07_PROJETO<br>DETALHADO | 02/08/18 | 90 | 10       | 10       | 10       | 10       | 7        | 10  | 6        | 7        | 10  | 1e6      |
| MRA               | APERFEIÇADO | 07_PROJETO<br>DETALHADO | 02/08/18 | 82 | 6        | 8        | 6        | 8        | 8        | 8   | 8        | 7        | 8   | 1e6      |
| MRA H             | APERFEIÇADO | 07_PROJETO<br>DETALHADO | 02/08/18 | 65 | 6        | 8        | 6        | 8        | 8        | 8   | 8        | 7        | 8   | 1e6      |
| MCR D             | INOVADOR    | 07_PROJETO<br>DETALHADO | 01/08/18 | 89 | 14       | 20       | 15       | 20       | 20       | 20  | 20       | 17       | 20  | 1e6      |
| MCR P             | INOVADOR    | 07_PROJETO<br>DETALHADO | 11/07/18 | 66 | 9        | 14       | 10       | 14       | 14       | 14  | 14       | 12       | 14  | 1e6      |
| MDA BC            | INOVADOR    | 07_PROJETO<br>DETALHADO | 02/08/18 | 66 | 7        | 8        | 6        | 8        | 8        | 8   | 8        | 8        | 8   | 1e6      |
| MDL               | INOVADOR    | 07_PROJETO<br>DETALHADO | 02/08/18 | 66 | 10       | 10       | 8        | 8        | 10       | 10  | 8        | 10       | 8   | 1e6      |
| MEA               | INOVADOR    | 07_PROJETO<br>DETALHADO | 02/08/18 | 94 | 15       | 15       | 15       | 15       | 15       | 15  | 15       | 13       | 15  | 1e6      |
| MEG E 16/16       | INOVADOR    | 07_PROJETO<br>DETALHADO | 02/08/18 | 66 | 15       | 15       | 15       | 10       | 13       | 15  | 10       | 15       | 15  | 1e6      |
| MEG E 8/10/3      | INOVADOR    | 07_PROJETO<br>DETALHADO | 02/08/18 | 87 | 15       | 15       | 15       | 10       | 13       | 15  | 10       | 15       | 15  | 1e6      |
| MEF 415           | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 3        | 3        | 1e6 | 3        | 1e6      | 3   | 1e6      |
| MEG 20/1          | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1        | 1        | 1e6 | 1        | 1e6      | 2   | 1        |
| MEG 40/40/12      | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 87 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1        | 1        | 1e6 | 1        | 1e6      | 2   | 1        |
| MEI 10/12/4       | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1        | 1        | 1e6 | 1        | 1e6      | 2   | 1        |
| MEI 15/18/6       | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 90 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1        | 1        | 1e6 | 1        | 1e6      | 2   | 1        |
| MEI 20/24/6       | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1        | 1        | 1e6 | 1        | 1e6      | 2   | 1        |
| MEI 30/30/10      | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 71 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1        | 1        | 1e6 | 1        | 1e6      | 2   | 1        |
| MEI 40/40/10      | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1        | 1        | 1e6 | 1        | 1e6      | 2   | 1        |
| MEL 3/3/1         | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 90 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1        | 1        | 1e6 | 1        | 1e6      | 2   | 1        |
| METT              | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 2        | 5        | 1e6 | 2        | 1e6      | 5   | 2        |
| MLG 6             | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 71 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 3        | 5        | 1e6 | 2        | 1e6      | 1e6 | 1e6      |
| MRB 1201          | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 66 | 0.5      | 1e6      | 0.5      | 1e6      | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 0.5      | 1e6 | 1e6      |
| MRB 1201H         | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 90 | 0.5      | 1e6      | 0.5      | 1e6      | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 0.5      | 1e6 | 1e6      |
| MRB 2001          | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 66 | 0.5      | 1e6      | 0.5      | 1e6      | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 0.5      | 1e6 | 1e6      |
| MTA 10M-20M       | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 13/08/18 | 71 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 2   | 1e6      | 1e6      | 2   | 1e6      |
| MTA 1M-5M         | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 13/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.5 | 1e6      | 1e6      | 0.5 | 1e6      |
| MTA 20M+          | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 13/08/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 2   | 1e6      | 1e6      | 2   | 1e6      |
| MTA 5M-10M        | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 13/08/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1.5 | 1e6      | 1e6      | 1.5 | 1e6      |
| MTE 12 1M-5M      | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 13/08/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 2   | 1e6      | 1e6      | 2   | 1e6      |
| MTE 12 5M-10M     | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 13/08/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 3   | 1e6      | 1e6      | 3   | 1e6      |
| MTE 3.1/4 10M-20M | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 13/08/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 5   | 1e6      | 1e6      | 5   | 1e6      |
| MTE 3.1/4 1M-5M   | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 13/08/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 2   | 1e6      | 1e6      | 2   | 1e6      |
| MTE 3.1/4 5M-10M  | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 13/08/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 3   | 1e6      | 1e6      | 3   | 1e6      |
| MTE 400R 1M-5M    | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 13/08/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 2   | 1e6      | 1e6      | 2   | 1e6      |
| MTE 400R 5M-10M   | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 13/08/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 2   | 1e6      | 1e6      | 2   | 1e6      |
| MTE 7.1/2 1M-5M   | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 13/08/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 2   | 1e6      | 1e6      | 2   | 1e6      |
| MTE 7.1/2 5M-10M  | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 13/08/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 3   | 1e6      | 1e6      | 3   | 1e6      |
| MTT R2            | ADAPTATIVO  | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 5        | 5        | 1e6 | 4        | 1e6      | 1e6 | 1e6      |
| MCC 6             | PADRÃO      | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 73 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6 | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6 | 0.2<br>5 |
| MECG              | PADRÃO      | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 5   | 1e6      | 1e6      | 5   | 0.2<br>5 |
| MEN M             | PADRÃO      | 08_EQUIPAMENTO          | 02/08/18 | 73 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6 | 0.2<br>5 |

|              |              |                |          |    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------------|--------------|----------------|----------|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| MEP 1200     | PADRÃO       | 08_EQUIPAMENTO | 02/08/18 | 73 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MET          | PADRÃO       | 08_EQUIPAMENTO | 02/08/18 | 73 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MLG E5       | PADRÃO       | 08_EQUIPAMENTO | 02/08/18 | 73 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MLG M        | PADRÃO       | 08_EQUIPAMENTO | 02/08/18 | 73 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MPM 12       | PADRÃO       | 08_EQUIPAMENTO | 02/08/18 | 73 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MTT E1200    | PADRÃO       | 08_EQUIPAMENTO | 02/08/18 | 73 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MVL          | PADRÃO       | 08_EQUIPAMENTO | 02/08/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 |
| MEG 20/1     | ADAPTATIVO   | 09_REPOSICAO   | 02/08/18 | 90 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEG 40/40/12 | ADAPTATIVO   | 09_REPOSICAO   | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEI 10/12/4  | ADAPTATIVO   | 09_REPOSICAO   | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEI 15/18/6  | ADAPTATIVO   | 09_REPOSICAO   | 02/08/18 | 90 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEI 30/30/10 | ADAPTATIVO   | 09_REPOSICAO   | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEI 40/40/10 | ADAPTATIVO   | 09_REPOSICAO   | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MLG 6        | ADAPTATIVO   | 09_REPOSICAO   | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEG 50/60/15 | APERFEIÇOADO | 09_REPOSICAO   | 25/07/18 | 90 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEG 8/10/3   | APERFEIÇOADO | 09_REPOSICAO   | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEG E 16/16  | INOVADOR     | 09_REPOSICAO   | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 0.2<br>5 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEP 1200     | PADRÃO       | 09_REPOSICAO   | 02/08/18 | 66 | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.2<br>5 |
| MEG 20/1     | ADAPTATIVO   | 10_PNEUMATICOS | 31/08/18 | 65 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 0.5      | 1e6      | 0.5      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEG 40/40/12 | ADAPTATIVO   | 10_PNEUMATICOS | 31/08/18 | 56 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 0.5      | 1e6      | 0.5      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEI 10/12/4  | ADAPTATIVO   | 10_PNEUMATICOS | 31/08/18 | 71 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 0.5      | 1e6      | 0.5      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEI 15/18/6  | ADAPTATIVO   | 10_PNEUMATICOS | 31/08/18 | 90 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 0.5      | 1e6      | 0.5      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEI 30/30/10 | ADAPTATIVO   | 10_PNEUMATICOS | 31/08/18 | 50 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 0.5      | 1e6      | 0.5      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEI 40/40/10 | ADAPTATIVO   | 10_PNEUMATICOS | 31/08/18 | 50 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 0.5      | 1e6      | 0.5      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MLG 6        | ADAPTATIVO   | 10_PNEUMATICOS | 31/08/18 | 50 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 0.5      | 0.5      | 1e6      | 0.5      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEG 50/60/15 | APERFEIÇOADO | 10_PNEUMATICOS | 31/08/18 | 56 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1        | 1        | 1e6      | 1        | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEG 8/10/3   | APERFEIÇOADO | 10_PNEUMATICOS | 31/08/18 | 71 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1        | 1        | 1e6      | 1        | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MPF 122      | APERFEIÇOADO | 10_PNEUMATICOS | 31/08/18 | 90 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1        | 1        | 1e6      | 1        | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MCR D        | INOVADOR     | 10_PNEUMATICOS | 09/08/18 | 66 | 1        | 1e6      | 1        | 1e6      |
| MCR P        | INOVADOR     | 10_PNEUMATICOS | 09/08/18 | 66 | 1        | 1e6      | 1        | 1e6      |
| MDA BC       | INOVADOR     | 10_PNEUMATICOS | 31/08/18 | 66 | 1        | 1e6      | 1        | 1e6      |
| MEG E 16/16  | INOVADOR     | 10_PNEUMATICOS | 31/08/18 | 66 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1        | 1        | 1e6      | 1        | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEG E 8/10/3 | INOVADOR     | 10_PNEUMATICOS | 31/08/18 | 87 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1        | 1        | 1e6      | 1        | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MEG 20/1     | ADAPTATIVO   | 11_KIT         | 11/09/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1.5      | 2        | 1e6      | 1.5      | 1e6      | 2        | 1e6      | 1e6      |
| MEG 40/40/12 | ADAPTATIVO   | 11_KIT         | 10/09/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1.5      | 2        | 1e6      | 1.5      | 1e6      | 2        | 1e6      | 1e6      |
| MEI 10/12/4  | ADAPTATIVO   | 11_KIT         | 10/09/18 | 73 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1.5      | 2        | 1e6      | 1.5      | 1e6      | 2        | 1e6      | 1e6      |
| MEI 15/18/6  | ADAPTATIVO   | 11_KIT         | 10/09/18 | 90 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1.5      | 2        | 1e6      | 1.5      | 1e6      | 2        | 1e6      | 1e6      |
| MEI 30/30/10 | ADAPTATIVO   | 11_KIT         | 10/09/18 | 82 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1.5      | 2        | 1e6      | 1.5      | 1e6      | 2        | 1e6      | 1e6      |
| MEI 40/40/10 | ADAPTATIVO   | 11_KIT         | 10/09/18 | 90 | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1.5      | 2        | 1e6      | 1.5      | 1e6      | 2        | 1e6      | 1e6      |
| MRB 1201     | ADAPTATIVO   | 11_KIT         | 09/08/18 | 91 | 3        | 1e6      | 3        | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 3        | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MRB 1201H    | ADAPTATIVO   | 11_KIT         | 09/08/18 | 90 | 3        | 1e6      | 3        | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 3        | 1e6      | 1e6      | 1e6      |
| MRB 2001     | ADAPTATIVO   | 11_KIT         | 09/08/18 | 82 | 3        | 1e6      | 3        | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 1e6      | 3        | 1e6      | 1e6      | 1e6      |

|              |             |           |          |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|-------------|-----------|----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| MTF 4        | ADAPTATIVO  | 11_KIT    | 06/09/18 | 88 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1.5 | 2   | 1e6 | 1.5 | 1e6 | 2   | 1e6 |
| MEG 50/60/15 | APERFEIÇADO | 11_KIT    | 10/09/18 | 60 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 2   | 3   | 1e6 | 2   | 1e6 | 3   | 1e6 |
| MEG 8/10/3   | APERFEIÇADO | 11_KIT    | 10/09/18 | 60 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 2   | 3   | 1e6 | 2   | 1e6 | 3   | 1e6 |
| MPF 122      | APERFEIÇADO | 11_KIT    | 09/08/18 | 60 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 2   | 1e6 | 1e6 | 2   | 1e6 | 1e6 |
| MRA          | APERFEIÇADO | 11_KIT    | 09/08/18 | 93 | 2   | 1e6 | 3   | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 2   | 1e6 | 1e6 |
| MRA H        | APERFEIÇADO | 11_KIT    | 09/08/18 | 60 | 2   | 1e6 | 3   | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 2   | 1e6 | 1e6 |
| MEG E 16/16  | INOVADOR    | 11_KIT    | 11/09/18 | 87 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 2   | 3   | 1e6 | 2   | 1e6 | 3   | 1e6 |
| MEG E 8/10/3 | INOVADOR    | 11_KIT    | 11/09/18 | 60 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 2   | 3   | 1e6 | 2   | 1e6 | 3   | 1e6 |
| MEG 20/1     | ADAPTATIVO  | 12_BOICAL | 24/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 |
| MEG 40/40/12 | ADAPTATIVO  | 12_BOICAL | 24/08/18 | 87 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 |
| MEI 10/12/4  | ADAPTATIVO  | 12_BOICAL | 24/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 |
| MEI 15/18/6  | ADAPTATIVO  | 12_BOICAL | 24/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 |
| MEI 30/30/10 | ADAPTATIVO  | 12_BOICAL | 24/08/18 | 90 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 |
| MEI 40/40/10 | ADAPTATIVO  | 12_BOICAL | 24/08/18 | 82 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 |
| MTF 4        | ADAPTATIVO  | 12_BOICAL | 24/08/18 | 86 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 |
| MEG 50/60/15 | APERFEIÇADO | 12_BOICAL | 24/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 |
| MEG 8/10/3   | APERFEIÇADO | 12_BOICAL | 24/08/18 | 93 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 |
| MEG E 8/10/3 | INOVADOR    | 12_BOICAL | 24/08/18 | 66 | 1e6 | 1e6 | 1e6 | 0.5 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 | 1   | 1e6 |

## APÊNDICE B – ALGORITMO IMPLEMENTADO

### Designação

```

clear all
close all
clc
format short

%Atenção formato dos dados no arquivo de entrada:
%Linhas: jobs (tarefas)
%Colunas: recursos (máquinas)
dados=load('capacidades_new_seq.txt');
prazos=dados(:,1);
capacidades=dados(:,2:end);
jobs=size(capacidades,1);
rec=size(capacidades,2);

%Parâmetros Genéticos
npop=100;
maxiter=500;
pc=0.9; pm=0.2;

%Criação da População Inicial
pop=randi(rec, npop, jobs);

%Avaliação das Soluções
fo=avalia(pop, capacidades, prazos, jobs, rec);

%Ordenação da FO
[fo_ord, fo_pos]=sort(fo);

%Armazenamento da melhor solução ao longo das interações
histfo(1)=fo_ord(1);

%Impressão da melhor solução
fprintf('Iter %g: %8.4e\n', 1, fo_ord(1)')

%Laço de evolução do genético
iter=1;

while (iter<=maxiter)

    %Início construção da Nova População
    nova_pop(1,:)=pop(fo_pos(1),:);
    nova_pop(2,:)=pop(fo_pos(2),:);
    j=2;

    %Construção do restante da população
    for j=2:2:npop

        %Operador de Seleção
        pais=selecao(pop, fo_pos);

        %Operador de Cruzamento

```

```

    if (rand<pc)
        filhos=cruzamento(pais,jobs);
    else
        filhos=pais;
    end

    %Operador de Mutação
    for i=1:2
        if (rand<pm)
            filhos(i,:)=mutacao(filhos(i,:),jobs,rec,capacidades);
        end
    end
    %Inserção dos filhos gerado
    nova_pop(j+1:j+2,:)=filhos;

end

%Avaliação Nova População
pop=nova_pop;
fo=avalia(pop, capacidades, prazos, jobs, rec);

%Ordenação da FO
[fo_ord, fo_pos]=sort(fo);

%Armazenamento da melhor solução ao longo das interações
histfo(iter)=fo_ord(1);

%Impressão da melhor solução
fprintf('Iter %g: %8.4e\n', iter, fo_ord(1)')

iter=iter+1;
end

%figure(1)
%plot(histfo, '-k', 'linewidth', 3)
%fprintf('Melhor Solução\n')
s_star = pop(fo_pos(1), :);
fo_star = fo_ord(1);
[tempo, ocupacao, atraso] = verifica_tempos(capacidades, prazos, s_star);
tempo_total=sum(tempo)
atraso_total=sum(atraso)
%figure(2)
bar(ocupacao)
desvio=std(ocupacao)

```

## Avaliação

```

function [ fo ] = avalia(pop, capacidades, prazos, jobs, rec)

n=size(pop,1); %número de indivíduos na população
vet=1:rec; %vetor de recursos
alfa=20e-2; %peso da penalização pelo não cumprimento do prazo
beta=5e-1; %peso da penalização pela diferença no uso dos recursos

for k=1:n
    soma=0;
    for kk=1:jobs

```

```

        soma=soma+capacidades(kk,pop(k, kk)); %soma do tempo de execução da
        tarefa kk
    end

    %Chamada da função para cálculo dos tempos
    [tempo,ocupacao,atraso] = verifica_tempos(capacidades,prazos,pop(k,:));

    %Penalização por conta do não cumprimento do prazo de entrega
    soma=soma+alfa*sum(atraso);

    %Penalização por conta da diferença no uso dos recursos
    soma=soma+beta*sum(ocupacao.^2); %regularização (suavização)

    %Atribuição do valor da FO ao indivíduo k
    fo(k)=soma;
end

```

### Verificação dos atrasos

```

function [tempo,ocupacao,atraso] =
verifica_tempos(capacidades,prazos,s_star)
[jobs,rec] = size(capacidades);
ocupacao(1:rec)=0; %armazena o tempo total de ocupação de um recurso
relogio(1:rec)=0; %acompanha o tempo de ocupação de um recurso
atraso(1:jobs)=0; %armazena o atraso de uma tarefa
fim_tarefa(1:jobs)=0; %armazena quando uma tarefa termina de ser realizada

for i=1:jobs
    tempo(i) = capacidades(i,s_star(i));
    ocupacao(s_star(i))=ocupacao(s_star(i))+tempo(i);

    relogio(s_star(i))=relogio(s_star(i))+capacidades(i,s_star(i));
    fim_tarefa(i)=relogio(s_star(i));
    if fim_tarefa(i)> prazos(i)
        atraso(i)=fim_tarefa(i) - prazos(i);
    end
end

end

```

### Seleção

```

function [pais] = selecao(pop,fo_pos)
%Seleção de dois indivíduos pais
%O primeiro é escolhido de uma população elite
%O segundo é escolhido da população completa

elite=0.2;

aleat=randi(ceil(length(fo_pos)*elite));
pais(1,:)=pop(fo_pos(aleat),:);
random=randi(length(fo_pos));
while random==aleat

```

```

        random=randi(length(fo_pos));
    end
    pais(2,:)=pop(fo_pos(random),:);

end

```

### **Cruzamento**

```

function [filhos] = cruzamento(pais,jobs)
r=randi(jobs);

filhos(1,1:r)=pais(1,1:r);
filhos(1,r+1:jobs)=pais(2,r+1:jobs);

filhos(2,1:r)=pais(2,1:r);
filhos(2,r+1:jobs)=pais(1,r+1:jobs);

end

```

### **Mutação**

```

function [filho_mutado] = mutacao(filho,jobs,rec,capacidades)
%Percentual de posições a serem mutadas
p=0.4;
%n=ceil(0.5*jobs); %nr. de posições a serem mutadas
filho_mutado=filho;

for i=1:jobs
    if (rand<p)
        %disp('mutou')
        new_rec = randi(rec);
        while (capacidades(i,new_rec)>=1e6)
            new_rec = randi(rec);
        end
        filho_mutado(i)= new_rec;
    end
end
end

```