



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE  
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU**



**PAULO ANTÔNIO ATANAZIO JUNIOR**

**MODELAGEM DE UM PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO BINÁRIA PARA  
AUXÍLIO NA ALOCAÇÃO DE MÃO DE OBRA DE MANUTENÇÃO: UM  
ESTUDO DE CASO**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E  
AUTOMAÇÃO**

**Ouro Preto, 2012**

**PAULO ANTÔNIO ATANAZIO JUNIOR**

**pauloatanazio@yahoo.com**

**MODELAGEM DE UM PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO BINÁRIA PARA  
AUXÍLIO NA ALOCAÇÃO DE MÃO DE OBRA DE MANUTENÇÃO: UM  
ESTUDO DE CASO**

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Engenheiro de Controle e Automação.

**Orientador:** Profº André Luís Silva

**Ouro Preto – MG**

**2012**

**PAULO ANTÔNIO ATANAZIO JUNIOR**

**MODELAGEM DE UM PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO  
BINÁRIA PARA AUXÍLIO NA ALOCAÇÃO DE MÃO DE  
OBRA DE MANUTENÇÃO: UM ESTUDO DE CASO**

Monografia julgada e aprovada em 27 de setembro de 2012 como requisito obrigatório para obtenção do grau de Engenheiro de Controle e Automação no curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. André Luís Silva

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador

---

Prof. Dr. Henor Artur de Souza

Universidade Federal de Ouro Preto

Examinador

---

Prof. Magno Silvério Campos

Universidade Federal de Ouro Preto

Examinador

*Dedico este trabalho aos meus pais, Paulo e Dirce, que com sabedoria e confiança sempre me apoiaram nos momentos de escolha. Ao meu irmão Filipe, pela amizade e companheirismo. À minha amada e eterna mansão Necrotério pelos bons anos vividos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Deus todo poderoso e ao meu anjo da guarda, fiel companheiro sempre presente nos momentos decisivos da minha jornada.

Aos meus pais, Paulo e Dirce, sempre dispostos a ouvir e enaltecer a importância fundamental do seio familiar.

À VALE, pela oportunidade e por ser o berço da proposta que me trouxe aqui.

Ao meu orientador, André Luís Silva, pela compreensão e paciência para com os meus muitos defeitos.

## RESUMO

ATANAZIO, Paulo Antônio Junior. **Modelagem de um Problema de Programação Binária para auxílio na alocação de mão de obra de manutenção: Um estudo de caso.** 2012. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Universidade Federal de Ouro Preto.

Esta pesquisa apresenta um modelo de programação inteira binária para resolver o problema da alocação de mão de obra de manutenção em um ambiente específico, no caso a gerência de manutenção mecânica de equipamentos de transporte dentro de uma mina. O objetivo da formulação é diminuir a disparidade na qualidade e capacidade de execução de tarefas entre diferentes equipes de manutenção mecânica, aumentando assim a confiabilidade dos serviços já executados e diminuindo a incidência de falhas por "retrabalho". A importância de se fazer uma análise detalhada a respeito da capacidade técnica das equipes formadas se dá a medida que reduzindo as chances de formação de um grupo tecnicamente inferior aos demais garante-se a homogeneidade do resultado da execução das tarefas apresentas a estes mesmo grupos. A modelagem foi implementada e executada no Lingo, software desenvolvido pela empresa *Lindo Systems*. Os resultados obtidos mostraram-se viáveis desde que questões relacionadas ao comportamento humano não sejam levadas em consideração. A inserção de tais fatores na remodelagem do problema não pode ser feita de forma simples e é sugerida para a redação de trabalhos semelhantes no futuro.

**Palavras-chaves:** Pesquisa Operacional, Programação Inteira, Programação Inteira Binária, Alocação de Mão de Obra, Lingo.

## ABSTRACT

ATANAZIO, Paulo Antônio Junior. **Modeling of a Binary Programming Problem to assist the maintenance labour allocation.** 2012. Course Work Conclusion (Graduate in Control and Automation Engineering). Federal University of Ouro Preto.

This research presents a binary integer programming model to solve the problem of the allocation of manpower for maintenance in a specific environment, in this case, the management of mechanical maintenance of transport equipment within a mine. The objective of the formulation is to reduce the disparity in quality and ability to perform tasks between different mechanical maintenance teams, thus increasing the reliability of services already performed and reducing the incidence of failures by "rework." The importance of performing a detailed analysis over the technical capability of the teams formed is reducing the chances of forming a group technically inferior to the other and ensure about the homogeneity of the result of the tasks performed by these same groups. The model was implemented in Lingo, using the optimizer also called Lingo developed by the company Lindo Systems. The results proved to be feasible as long as issues related to human behavior are not taken into account. The inclusion of such aspects in the remodeling of the problem does not represent a difficult task and is suggested for the drafting of similar work in the future.

**Key-words:** Operational Research, Integer Programming, Binary Integer Programming, Manpower Allocation, Labour Allocation, Lingo.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alocação original da mão de obra .....	37
Tabela 2 - Média individual de habilidades dos mecânicos .....	38
Tabela 3 - Habilidade média dos grupos e Desvio Padrão – Situação Inicial .....	38
Tabela 4 – Avaliação da mão de obra.....	44
Tabela 5 – Funcionários com permissão para dirigir e acesso ao software SDP3.....	45
Tabela 6 – Realocação proposta da mão de obra.....	50
Tabela 7 - Habilidade média dos grupos e Desvio Padrão – Solução .....	50



## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Macro Processo da Manutenção .....	28
Figura 2 – Interface Software Lingo 7.0.....	49

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>CSBM</b>	Companhia Siderúrgica Belgo Mineira
<b>DF</b>	Disponibilidade Física
<b>GAMTS</b>	Gerência de Manutenção em Equipamentos de Transporte
<b>MTBF</b>	Tempo Médio Entre Falhas
<b>MTTR</b>	Tempo Médio de Reparo
<b>PCM</b>	Planejamento e Controle da Manutenção
<b>PI</b>	Programação Inteira
<b>PIM</b>	Programação Inteira Mista
<b>PIP</b>	Programação Inteira Pura
<b>PL</b>	Programação Linear
<b>PO</b>	Pesquisa Operacional
<b>PPI</b>	Problema de Programação Inteira
<b>PPIB</b>	Problema de Programação Inteira Binária
<b>SAMITRI</b>	S/A Mineração de Trindade

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Justificativa do Trabalho.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Objetivos .....</b>	<b>17</b>
1.2.1 Objetivo geral .....	17
1.4.1 Objetivos específicos .....	17
<b>1.3 Estrutura do Trabalho.....</b>	<b>18</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Introdução .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 A Pesquisa Operacional .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 Programação Inteira .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4 Programação Inteira Binária (PIB).....</b>	<b>23</b>
2.4.1 O Problema da Alocação .....	25
<b>2.5 Exemplos e Aplicações do Problema da Alocação.....</b>	<b>26</b>
<b>2.6 Planejamento e Controle da Manutenção .....</b>	<b>26</b>
<b>2.7 O Processo de Manutenção.....</b>	<b>27</b>
<b>3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1 Conceito de Pesquisa.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2 Classificação da Pesquisa .....</b>	<b>29</b>
3.2.1 Quanto à Natureza .....	29
3.2.2 Quanto à Forma de Abordagem .....	30
3.2.3 Quanto ao seu Objetivo.....	31
3.2.4 Quanto aos Procedimentos Técnicos .....	32
<b>3.3 Área da Pesquisa .....</b>	<b>32</b>
<b>3.4 Técnicas de Coleta de Dados .....</b>	<b>33</b>
3.4.1 Documentação Indireta.....	33

3.4.2	Documentação Direta.....	34
3.4.3	Observação Direta Intensiva .....	34
3.4.4	Observação Direta Extensiva .....	36
3.5	Variáveis .....	36
3.6	Tabulação e Análise de Dados.....	37
4.	ESTUDO DE CASO .....	39
4.1	A Empresa.....	39
4.1.1	Histórico.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.2	Localização Geográfica.....	Error! Bookmark not defined.
4.2	Descrição do Problema.....	39
4.2.1	Engenharia de Manutenção .....	40
4.3	Aquisição de Dados .....	42
4.4	Modelagem Matemática.....	45
4.5	Ferramentas Utilizadas.....	47
4.6	Resultados .....	50
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	52
5.1	Conclusões.....	52
5.2	Recomendações.....	52
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53

# 1. INTRODUÇÃO

A importância dada ao planejamento e à padronização das atividades de manutenção como estratégia voltada aos objetivos e resultados organizacionais da empresa é recente. Tal consideração contraria alguns princípios tradicionais, como os adotados por Kardec (2007) nos quais a missão da manutenção seria simplesmente reestabelecer as condições originais dos equipamentos/sistemas. Muitos desses princípios, em sintonia com o ritmo de desenvolvimento das tecnologias empregadas nos processos produtivos em geral, com o passar do tempo sofreram certas adaptações. Xenos (2004) destaca que o objetivo fundamental da manutenção (produtiva) é aplicar a melhor combinação dos seus métodos a fim de não prejudicar a produção. Para tanto, a gestão eficiente da Manutenção envolve algumas funções de apoio, a saber, (XENOS, 2004): Tratamento de falhas dos equipamentos, Padronização da Manutenção, Peças-reservas (sobressalentes) e Almoxarifado, Educação e Treinamento, Orçamento e Planejamento.

Dentro deste contexto surge a necessidade do desenvolvimento de técnicas relacionadas ao grupo de funções supracitadas cada vez mais avançadas, que auxiliem tanto na difusão quanto no aumento da eficácia da aplicação destes conceitos. Ainda considerando as funções listadas por Xenos (2004), esta pesquisa é focada na padronização da manutenção levando em consideração os ganhos potenciais que podem ser obtidos através de uma análise adequada em conjunto com a aplicação correta de conceitos modernos relacionados a este tema.

Ao se tratar de padronização de processos de manutenção, muitas são as possibilidades e os meios de se interferir em um processo produtivo que trariam como resultado melhorias significativas. O presente trabalho tem como estratégia a padronização da manutenção baseada na alocação correta da mão de obra disponível de forma a garantir um padrão técnico apresentado pelas equipes constituintes do corpo de trabalho.

A utilização de técnicas recentes em sintonia com os principais conceitos relacionados à Pesquisa Operacional, mais especificamente, a alocação de recursos, neste caso a mão de obra, garante que tarefas semelhantes sejam executadas sempre com a mesma qualidade de serviço. Esta garantia torna-se um diferencial, do ponto de vista que a padronização e garantia da qualidade de serviço diminuem consideravelmente a ocorrência de causadas, por exemplo, por inexperiência ou falta de atenção, uma vez que a formação

de tais equipes se deu levando em conta um procedimento pré-estabelecido e a análise de fatores relevantes.

Logicamente, a relevância de qualquer atuação ou interferência em um processo produtivo varia de acordo com a natureza do processo em questão. Isso significa que em determinados processos, os resultados obtidos ao se adotar um procedimento mais elaborado para decisões relacionadas à alocação de mão de obra, por exemplo, podem não ser tão satisfatórios quanto em outros tipos de processo.

Esta pesquisa trata a aplicação de um procedimento computacional baseado nas necessidades básicas de formação de equipes destinadas a atuarem em diferentes turnos de trabalho, a aplicação de tal procedimento garante que as equipes formadas possam ser consideradas eficazes e aptas a atuar no ambiente de manutenção de uma empresa específica. O processo no qual estas equipes estariam inseridas apresenta-se de forma contínua, porém muito dinâmica, aumentando ainda mais o grau de complexidade das decisões a serem tomadas com relação à alocação da mão de obra disponível, uma vez que todas as equipes deverão se apresentar plenamente preparadas para atuar de forma a atender toda a demanda do ambiente em questão de forma emergencial, isso torna inviável a especialização de cada equipe em diferentes áreas da manutenção. Todos os grupos formados estarão expostos as mais diversas situações e tipos de falhas, o que justifica uma grande preocupação com grau de homogeneidade apresentado após a formação dos referidos grupos.

Considerando o grau de complexidade inerente a tarefa de dividir a mão de obra disponível em diferentes grupos em decorrência das necessidades específicas do ambiente em questão e a capacidade de adaptação e potencial de ganho apresentados pelas técnicas relativas à Pesquisa Operacional, neste caso a alocação de recursos, torna-se viável o estudo focado em auxiliar a decisão de como dividir da melhor maneira possível o corpo de trabalho utilizando para isso conceitos de otimização.

**Diante do contexto, pergunta-se como seria representado o modelo matemático, a ser executado computacionalmente, capaz de diminuir a disparidade na qualidade e capacidade de execução de tarefas entre diferentes equipes de manutenção?**

## 1.1 Justificativa do Trabalho

A necessidade de se elaborar uma forma impessoal de alocação da mão de obra de manutenção mecânica no ambiente estudado torna-se perceptível durante o acompanhamento de índices como DF (Disponibilidade Física) e MTBF (Tempo Médio Entre Falhas), índices utilizados pela liderança ao mensurar o grau de produtividade e competência com os quais o referido processo vem sendo gerido. Apesar de, em grande parte dos períodos sob análise, tais índices se apresentarem dentro dos limites de trabalho aceitáveis pela política de qualidade da empresa, ao se fazer uma análise detalhada dos serviços executados pelas equipes de manutenção foi possível perceber certa disparidade entre a qualidade do serviço executado por diferentes equipes. Tal fato torna comum a incidência de um fenômeno fortemente combatido dentro do ambiente de manutenção, que é a reincidência de falhas já solucionadas por outras equipes, porém com um nível de confiabilidade abaixo do esperado, essa baixa confiabilidade do serviço, muitas vezes tratada como "retrabalho" gera gastos desnecessários além de demandar tempo para re-execução do serviço.

A preocupação com a disponibilidade operacional é ratificada pelos dados do Documento Nacional – Ano 2009 da Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN), sobre a situação da Manutenção nas empresas brasileiras. Segundo este documento, tem-se a disponibilidade operacional como o principal indicador de desempenho da Manutenção.

Conforme ressaltado em Mobley et al. (2008), a disponibilidade dos equipamentos é afetada por tempos de inatividade programados e não programados. Os tempos não programados constituem eventos aleatórios de falhas do sistema, enquanto que a inatividade programada advém da necessidade de intervenção (preventiva ou preditiva), previamente identificados. Ainda segundo Mobley et al. (2008) trata-se de forma menos onerosa e impactando ao processo as falhas previamente identificadas ao se prover tudo aquilo que é necessário à manutenção antes da parada do sistema.

Embora se trate de um fator de extrema importância para manutenção dos custos e prazos dentro do orçado, assim como o combate a incidência de "retrabalho" pode ser dar de maneira muito simples variando de acordo com o grau de complexidade da formação das equipes de execução. Resumidamente, em muitos casos a simples substituição de um membro com menos experiência adquirida ao longo do tempo por um

com um conhecimento técnico e visão crítica mais aguçada pode ser determinante para a solução do problema de uma equipe inteira com baixo desempenho.

Nesse contexto, um fator motivador para a concretização deste trabalho é a possibilidade de se realocar equipes inteiras em subdivisões mais eficientes, podendo essa tarefa ser de baixíssimo nível de complexidade ao se agrupar um pequeno número de profissionais ou até mesmo apresentar um alto grau de complexidade ao se tratar da alocação de uma equipe com centenas de membros.

Focando de forma mais efetiva a diversidade de problemas que podem provir de situações como essa, surge a necessidade da elaboração de um Problema de Programação Linear altamente adaptável a qualquer tipo de equipe e/ou subdivisão, independente de número de integrantes ou quantidade de grupos a serem formados, gerando apenas, ao se trabalhar com um número muito grande de elementos, um esforço computacional maior ao *software* resolvidor do modelo que descreverá o estudo de caso ou qualquer outra situação similar.

Não somente por se apresentar como uma possibilidade de gerar consideráveis ganhos ao processo de manutenção, mas também por ser uma necessidade e parte da demanda de trabalho atribuída a função do autor dentro da empresa no período de desenvolvimento deste trabalho, a pesquisa mais aprofundada sobre a qualidade do processo de manutenção e a proposta apresentada para um dos problemas encontrados se torna viável partindo do ponto de vista que o resultado deste trabalho poderá facilmente ser adaptado a outros ambientes e contextos facilitando a propagação de conceitos e ideias apresentados e desenvolvidos através do mesmo.

Muito embora a modelagem matemática do problema em questão se dê de forma simples, a resolução de modelos desta natureza não ocorre da mesma forma. Visto isso este trabalho faz uso de ferramentas computacionais que auxiliam na resolução do modelo proposto e no tratamento dos dados adquiridos anteriormente e no decorrer do processo. Os softwares utilizados foram eleitos considerando a sua popularidade no ambiente da engenharia em geral considerando que os mesmo apresentariam maior facilidade na resolução de problemas eventualmente encontrados no desenvolvimento da pesquisa.

Considerando que a situação problema apresentada está inserida em um contexto real, dentre os procedimentos técnicos mais utilizados, aquele que se apresenta de



forma mais viável é o estudo de caso. Por se tratar de um trabalho de caráter empírico que investiga um dado fenômeno dentro de um contexto real contemporâneo.

## **1.2 Objetivos**

### 1.2.1 Objetivo geral

Apresentar um modelo de Programação Linear Inteira Binária para auxílio no Problema da Alocação de Mão de Obra. O objetivo do modelo é diminuir a disparidade na qualidade e capacidade de execução de tarefas entre diferentes equipes de manutenção mecânica, aumentando assim a confiabilidade dos serviços já executados e diminuindo a incidência de falhas por "retrabalho".

### 1.4.1 Objetivos específicos

Para se atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

1. Realizar um levantamento de dados correspondente à alocação da mão de obra da situação em que o trabalho foi sugerido.
2. Determinar os parâmetros relevantes para a formação de uma equipe elegível para o ambiente de manutenção em análise.
3. Coletar os dados necessários para a classificação da mão de obra de acordo com tais parâmetros.
4. Realizar um levantamento bibliográfico acerca do PPI e PPIB;
5. Com base nas características do PPIB, apresentar um modelo de Programação Linear Inteira Binária que represente o problema estudado;
6. Implementar computacionalmente o modelo sugerido;
7. Analisar os resultados do modelo;
8. Fazer algumas considerações sobre o modelo proposto/resultados atingidos.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

A monografia em questão foi organizada em cinco capítulos. Uma descrição sumária de cada um deles é fornecida abaixo.

O Capítulo 1 é a introdução ao tema abordado. Neste capítulo encontra-se uma introdução ao ambiente de manutenção atual e ao contexto em que o estudo de caso está inserido. A intenção é ambientar o leitor no assunto tratado. Ainda nesse capítulo encontram-se a motivação e os objetivos do trabalho, bem como a sua estruturação.

No Capítulo 2 é feito um estudo bibliográfico sobre o tema proposto. Longe de esgotar o assunto, são apresentados os conceitos e algumas abordagens encontradas na literatura para Problemas de Programação Inteira e Problemas de Programação Inteira Binária. A base para o desenvolvimento do modelo estudado neste trabalho também é apresentada neste capítulo.

A metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho é descrita no Capítulo 3, que contempla uma classificação da pesquisa de acordo com a sua forma de abordagem e finalidade, a forma como se deu a coleta dos dados necessários para elaboração do modelo, a elaboração do modelo em si utilizando os conhecimentos obtidos, em parte, através da revisão literária e uma breve apresentação do software utilizado no estudo de caso para resolução do modelo proposto.

O Capítulo 4 apresenta o estudo de caso em si. São feitas algumas considerações importantes sobre a empresa e o cenário onde se desenvolveu o estudo de caso. Além disso, é apresentado o modelo em Lingo bem como os resultados obtidos através do solver do próprio Lingo 7.0.

No capítulo 5, finaliza-se esta monografia com algumas análises acerca dos resultados obtidos e conclusões seguidas de sugestões propostas para trabalhos futuros.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Introdução**

Neste capítulo será apresentada uma fundamentação teórica acerca das técnicas e conceitos utilizados na realização do trabalho. Tal apresentação é feita com simples intuito de desmistificar a Pesquisa Operacional ou Otimização e algumas de suas ramificações, no caso aquelas utilizadas no desenvolvimento do estudo.

Por tratar-se de um modelo de Programação Inteira Binária que representa um caso de alocação de mão-de-obra, esta revisão será fundamentada nos principais conceitos ligados à Pesquisa Operacional (suas origens e impacto no setor produtivo), no conceito de Programação Inteira (sub-ramo fortemente difundido dentro da PO) e nas técnicas relacionadas à Programação Inteira Binária (modelos onde a variável de decisão assume, única e exclusivamente, valores iguais a 0 ou 1). Por fim, por se estar utilizando tais ferramentas, em um problema relacionado à alocação de mão-de-obra serão feitas algumas considerações a respeito da utilização de tais técnicas ao se trabalhar com este tipo de situação. Ainda neste capítulo, serão apresentados de forma sucinta conceitos ligados a engenharia de manutenção cujo entendimento se faz necessário para melhor compreensão da situação problema que será apresentada no estudo de caso.

### **2.2 A Pesquisa Operacional**

Nas últimas décadas, com o auxílio do desenvolvimento tecnológico no mundo, principalmente no setor industrial, não somente o tamanho, mas também o grau de complexidade das atividades desenvolvidas pelas grandes empresas cresceu muito. Essa mudança, assim como qualquer outra, trouxe consigo alguns fatores positivos como uma maior organização na divisão do trabalho e a segmentação na gestão de tais organizações e os resultados obtidos a partir disso têm sido excelentes. Porém, fatores negativos também puderam ser notados, por exemplo, a dificuldade de alocação dos recursos disponíveis à empresa como um todo de uma forma inteligente que não gere altos custos a nenhuma das

unidades ou, de acordo com Hillier (2008), a tendência de as diversas unidades de uma organização crescerem em ilhas relativamente autônomas com seus próprios objetivos e sistemas de valor, perdendo, conseqüentemente a visão de como suas atividades e objetivos se entremeiam com aquelas da organização como um todo. Ainda segundo Hillier (2008) o que pode ser melhor para uma frequentemente é prejudicial à outra, de forma que as unidades podem acabar trabalhando em direção a objetivos conflitantes.

Taha (2008) afirma que problemas desse tipo e a necessidade de encontrar o melhor caminho para solucioná-los em conjunto com a busca constante por desenvolvimento tanto no tocante ao aumento no ritmo produtivo quanto na diminuição dos custos relacionados criaram as condições necessárias para o surgimento da Pesquisa Operacional, ou PO como é comumente referida.

Como o próprio nome indica, a pesquisa operacional envolve “pesquisa sobre operações”. Portanto, a pesquisa operacional, de acordo com Taha (2008), é aplicada a problemas envolvendo como conduzir e coordenar as atividades em uma organização. Por não se tratar de um método específico para certo tipo de operações, mas sim de um método de pesquisa adaptativo (baseado em modelagem matemática), a natureza da organização torna-se secundária tornando possível a aplicação da PO em áreas bastante distintas entre si como manutenção, transporte, construção, telecomunicações, planejamento financeiro, dentre inúmeras outras. Portanto a gama de aplicações é excepcionalmente grande.

O primeiro passo ao se fazer uma análise sobre o ponto de vista da PO é a observação e modelagem minuciosas do problema, incluindo a coleta de dados. A próxima etapa é a construção de um modelo tipicamente matemático que represente a essência do problema real. Admite-se que então que o modelo é uma representação suficientemente precisa das características essenciais da situação e que as considerações e as conclusões obtidas a partir do modelo também serão válidas para o problema real. Prado (2012) considera uma questão importante no que diz respeito à PO o fato de ser utilizada para tratar questões relacionadas à gestão prática da organização ou atividade a ser realizada, os resultados obtidos a partir dela podem, não necessariamente, representar o resultado final a ser aplicado pois, em muitas vezes, não conta com considerações ou restrições que não possuem representação matemática possível ou viável. Sendo assim, esses resultados se

tornam mais eficazes quando antes de aplicados são alvo de uma análise final por parte dos tomadores de decisão envolvidos levando em conta sua experiência no assunto.

Ao se representar um problema qualquer de acordo com os padrões da PO (modelo matemático), primeiramente três questões cruciais devem ser respondidas, são elas (Taha, 2008):

Quais são as alternativas para a decisão?

Sob quais restrições ela deve ser tomada?

Qual seria o objetivo para análise das alternativas?

Uma vez atendidas as necessidades iniciais, a solução encontrada através de um modelo é considerada viável se satisfizer todas as restrições e ótima se além de viável for a melhor decisão a ser tomada, ou seja, aquela que traz o melhor resultado (sendo ele máximo ou mínimo) com relação ao objetivo buscado.

Em PO, não existe uma única técnica capaz de resolver todos os modelos matemáticos que podem surgir na prática. Sendo assim, o tipo e a complexidade do modelo matemático é que vão determinar a natureza do método de solução (Taha, 2008).

A técnica mais utilizada dentro da PO é a Programação Linear, normalmente aplicada a modelos cujas funções objetivo e restrições são todas lineares. Outras técnicas são a Programação Inteira (objeto de estudo deste trabalho, na qual as variáveis de decisão só assumem valores inteiros), a Programação Dinâmica, o Fluxo em Redes e a Programação Não-Linear. Essas são apenas algumas dentro de inúmeras ferramentas de PO disponíveis, sendo que, a partir daqui este capítulo trará uma abordagem mais específica somente com relação à Programação Inteira, justamente por se tratar da principal ferramenta utilizada no decorrer desse trabalho.

## 2.3 Programação Inteira

Em muitos problemas práticos, as variáveis de decisão, na verdade, fazem sentido apenas se assumirem valores estritamente inteiros. Em situações do dia a dia, normalmente é necessário alocar pessoal, máquinas, e veículos a atividades em quantidades inteiras. Segundo Hillier (2008) se a exigência de valores discretos para as variáveis de decisão for o único motivo pelo qual um problema se afasta de um problema de programação linear, então trata-se de um problema de programação inteira (PI).

Alves (1997) define um problema de Programação Inteira (PI) como nada mais que um problema de Programação Linear (PL) em que todas ou algumas de suas variáveis são discretas (só assumem valores inteiros). Quando todas as variáveis de decisão estão sujeitas à condição de integralidade, então se trata de um problema de Programação Inteira Pura (PIP). Em contrapartida, se apenas algumas das variáveis o estão, trata-se de um problema de Programação Inteira Mista (PIM).

Os modelos de PI, em geral, podem ser representados por modelos típicos de PL, simplesmente sujeitos a restrições adicionais indicando que parte das variáveis de decisão, ou todas elas, são discretas (Alves, 1997). Tal fato é perceptível no exemplo a seguir:

- PI
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Max } F = 4X_1 - 5X_2 \\ \text{Sujeito a:} \\ 2X_1 + 3X_2 \leq 8 \\ 5X_1 + 2X_2 \leq 11 \\ X_1, X_2 \geq 0 \cap \in \mathbb{Z} \end{array} \right.$$

O problema baseado em PL (relaxação do PI, ou seja, alarga-se o domínio das variáveis de decisão do conjunto dos números naturais para os reais) correspondente ao exposto acima, é representado da seguinte forma:

- PL

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Max } F = 4X_1 - 5X_2 \\ \text{Sujeito a:} \\ 2X_1 + 3X_2 \leq 8 \\ 5X_1 + 2X_2 \leq 11 \\ X_1, X_2 \geq 0 \end{array} \right.$$

Rao (2008) considera como uma das mais importantes aplicações da PI os problemas envolvendo “decisões do tipo sim ou não”. Em tais decisões as únicas escolhas possíveis são sim e não. Com apenas duas opções, tais decisões podem ser representadas por variáveis de decisão que estão restritas apenas a dois valores, geralmente 0 ou 1. Sendo assim, a  $i$ -ésima decisão dessa natureza seria representada por , digamos,  $X_i$  tal que:

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{se a decisão } i \text{ for sim} \\ 0 & \text{se a decisão } i \text{ for não} \end{cases}$$

Tais variáveis são chamadas “variáveis binárias” ou até mesmo “variáveis 0-1”. Consequentemente, problemas de PI contendo apenas variáveis binárias podem ser classificados como problemas de Programação Inteira Binária (PIB). O próximo item (2.3.1) deste capítulo fará algumas considerações sobre os problemas de PIB e algumas de suas principais aplicações, dentre elas aquela que é o foco principal do trabalho (o caso da alocação).

## 2.4 Programação Inteira Binária (PIB)

Wayne (2003) considera as variáveis binárias ferramentas muito úteis tanto na posição de variáveis auxiliares, nesse caso utilizadas para exprimir certas condições as quais o problema ou situação estão restritos, quanto na representação matemática de situações dicotômicas (fazer ou não fazer, alocar ou não alocar, construir ou não construir, etc.).

Ao serem utilizadas como variáveis auxiliares, as variáveis binárias podem exprimir inúmeras condições decorrentes de situações do dia a dia, como por exemplo, ao se representar (Hillier, 2008):

- Restrições mutuamente exclusivas;
- Respeitar  $k$  de  $m$  restrições;
- Funções com  $N$  valores possíveis;
- Restrições condicionadas;
- Representações de custos fixos;
- Máximo de  $N$  variáveis;

No segundo exemplo das principais utilizações das variáveis binárias citadas por Wayne (2003), tais variáveis são utilizadas como ferramentas de decisão e não auxiliares, assim como feito, não somente na modelagem do problema em estudo, mas também em vários outros casos típicos de PIB, citados a seguir (Alves, 1997):

- Problema de Alocação;
- Problema do Caixeiro Viajante;
- Problema da Mochila;
- Problema da Cobertura e da Partição de Conjuntos;
- Problema de Seleção de Projetos;
- Problema de Transporte;

Dentre os problemas citados por Alves (1997) como os principais relacionados à PIB, o primeiro é aquele que melhor representa a situação sob análise do presente trabalho, por esse motivo o próximo item desse capítulo (2.4.1) traz maiores informações sobre o Problema da Alocação, sua estrutura de modelagem e aplicabilidade em diferentes tipos de situação.



### 2.4.1 O Problema da Alocação

O Problema da Alocação (em inglês, Assignment Problem), segundo Bradley et al. (1977), é assim chamado por se tratar de uma representação matemática fiel de inúmeras situações onde se pretende alocar pessoas ou máquinas a lugares, tarefas, grupos, etc. Apesar de sua enorme semelhança com a maioria dos problemas de PL, tais problemas se diferem pelo fato suas variáveis de decisão serem binárias, conceito já visto anteriormente.

Supondo-se que é necessário alocar  $n$  indivíduos a  $n$  tarefas de modo a otimizar a eficiência de tal operação, sabendo-se que a medida de eficiência de se alocar o indivíduo  $i$  à tarefa  $j$  é  $C_{ij}$  (que pode representar tanto um ganho como um custo), o modelo de PI utilizado neste caso seria (Alves, 1997):

$$X(i,j) \begin{cases} \text{recebe valor 1 se o indivíduo "i" for assignado à tarefa "j"} \\ \text{recebe valor 0 se o indivíduo "i" não for assignado à tarefa "j"} \end{cases}$$

$$\forall i \in \{1, \dots, n\} \cap j \in \{1, \dots, n\}$$

$$\text{Min ou Max} \left( \sum_i \sum_j C_{ij} * X_{ij} \right) \text{ Otimizar a eficiência total}$$

Sujeito a:

- Cada indivíduo só pode estar alocado em uma tarefa

$$\sum_j X_{ij} = 1, \quad \forall i \in \{1,2,3,4\}$$

- Cada tarefa só deve ser desempenhada por um único indivíduo

$$\sum_i X_{ij} = 1, \quad \forall i \in \{A, B, C, D\}$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}$$

Qualquer problema que possa ser representado por um modelo com essa estrutura pode ser classificado como um Problema de Alocação, independentemente da situação que estiver a ser considerada. Com esse tipo de modelo, é possível ainda, a

representação de situações onde o número de indivíduos é diferentes do número de tarefas, podendo, no caso do número de tarefas ser maior que o número de indivíduos, trata-se de um caso de “agrupamento”.

## **2.5 Exemplos e Aplicações do Problema da Alocação**

Durante a revisão teórica necessária para proposição e solução do problema representado nesta pesquisa foram encontrados inúmeros trabalhos previamente publicados que se relacionam tanto direta quanto indiretamente com o tema abordado, no caso, o problema da alocação.

Dentre estes, Andrade et al (2011) descreve a alocação das aulas das disciplinas oferecidas na Escola de Minas de Ouro Preto utilizando, para solução do modelo proposto, o método Branch & Bound.

Ainda seguindo a mesma temática, seria conveniente mencionar também a publicação de Silva *et al* (2012), que trata da modelagem computacional do problema da alocação de mercadorias.

## **2.6 Planejamento e Controle da Manutenção**

De acordo com Viana (2009), O Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) tem como função gerir a manutenção de seus ativos de forma eficiente a fim do atingimento de metas estabelecidas, como confiabilidade e disponibilidade física, através do uso de estratégias e ferramentas que proporcionem as manutenções preditivas, preventivas e corretivas.

Ainda seguindo a perspectiva de Viana (2009), pode-se afirmar que o setor tem papel importante na empresa como um todo, pois garante que seus ativos trabalhem de maneira esperada, evitando falhas prematuras e perdas indesejáveis à empresa e ao processo. O PCM se liga à engenharia de manutenção em processos importantes do macro-

fluxo como planejamento, provisionamento, programação, gestão de estoques, controle do processo, controle de custos e controle de indicadores, gerenciamento de rotinas, entre outras.

## **2.7 O Processo de Manutenção**

Viana (2009) também afirma que o PCM trabalha conforme um fluxograma pré-estabelecido e que descreve o processo de manutenção. Neste processo, profissionais treinados em dada função conduzem os processos individuais dentro de fluxogramas específicos da função. Tem-se como funções no PCM (na fase de Executar Manutenção):

- Inspetor: responsável pela identificação da demanda e do planejamento de materiais, mão de obra e ferramentas, componentes, entre outros;
- Aproveitador: responsável por criar uma ordem de serviço em cima das demandas geradas pelos inspetores tendo em vista o planejamento, pedir materiais e prover todos os recursos necessários à realização da manutenção;
- Programador: responsável por organizar e programar o calendário da manutenção especificando quais serviços serão executados, quais equipamentos passarão por manutenção, qual será o grupo responsável por cada serviço, entre outros;
- Executores: função que representa o principal foco do presente trabalho, responsáveis por executar a manutenção programada.

Todas as fases são acompanhadas e gerenciadas pelos supervisores da manutenção. Dentro do PCM, na fase de Gerir Manutenção, tem-se o controlador de indicadores (Controle). O macro processo é dado pela figura 2.

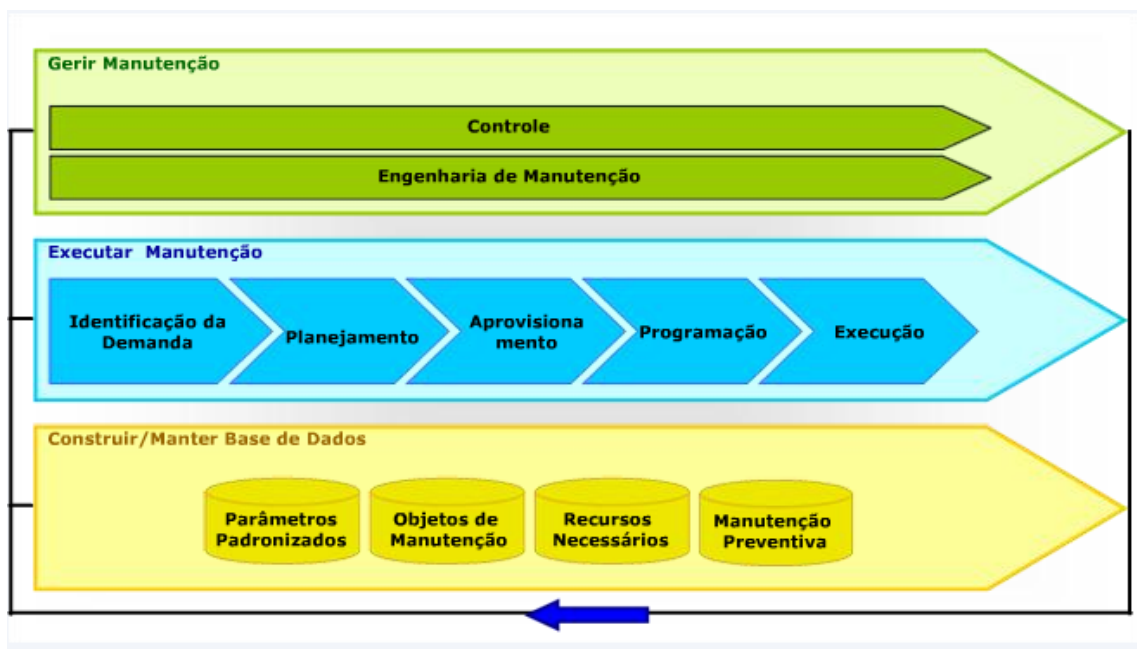


Figura 1 – Macro Processo de Manutenção. Fonte: Viana (2009).

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Após a apresentação do tema e da sua importância no atual cenário do setor produtivo bem como alguns conceitos necessários ao seu entendimento, este capítulo tem por finalidade descrever a metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho no intuito de atingir os objetivos traçados inicialmente. Aqui se apresenta uma breve classificação da pesquisa bem como a área de pesquisa e as técnicas de coleta, tabulação e análise de dados seguidos pelo pesquisador, com o propósito de obter os resultados para a fundamentação do estudo.

A importância metodológica de um trabalho pode ser justificada pela necessidade de um fundamento científico adequado e pela busca da melhor abordagem para endereçar as questões da pesquisa (MIGUEL, 2012).

### **3.1 Conceito de Pesquisa**

A elaboração de um trabalho científico, definido monografia ou outro tipo de trabalho exige desde a sua concepção um trabalho intenso, tendo em vista a busca de uma ou mais respostas ao problema proposto. Essa busca, que se descrita em termos coloquiais compara-se a uma garimpagem intelectual, denomina-se pesquisa.

De acordo com (PINTO, 1979) a ciência nada mais é que a investigação metódica e organizada da realidade para descobrir a essência dos seres vivos, dos fenômenos e as leis que os regem com o fim de aproveitar as propriedades das coisas e dos processos naturais em benefício do homem.

Logo, ao se fazer ciência é necessário seguir um método científico aceito. Ou seja, a pesquisa exige que o pesquisador siga um método, entendido como meio pelo qual se chega aos resultados.

Naturalmente seria inviável listar todos os possíveis objetivos buscados ao se fazer uma pesquisa de caráter científico. Entretanto alguns deles ocorrem com considerável frequência no meio acadêmico, por exemplo, demonstrar a existência ou ausência de relação entre diferentes fenômenos, estabelecer consistência interna entre conceitos dentro de certa teoria, desenvolvimento de novas tecnologias e até mesmo demonstração de novas aplicações de tecnologias conhecidas como é o caso do estudo em questão.

Ao se definir a pesquisa científica conforme Demo (1987) o resultado seria a atividade científica pela qual descobre-se a realidade. Kerlinger, (1973) não contraria os demais autores que discorreram sobre o assunto ao definir pesquisa como a investigação sistemática, controlada, empírica e crítica de proposições hipotéticas sobre supostas relações entre fenômenos naturais.

A pesquisa científica é, resumidamente, o instrumento de investigação usado pela ciência para gerar novos conhecimentos.

### **3.2 Classificação da Pesquisa**

#### **3.2.1 Quanto à Natureza**

De acordo com Wazlawick (2008, p. 37), uma pesquisa pode ter finalidade técnica ou científica. Os trabalhos técnicos apenas usam o conhecimento já disponível, enquanto os trabalhos científicos devem, além de usar o conhecimento já disponível, criar novos conhecimentos, associando-os dentro de uma estrutura coerente àqueles que já são conhecidos.

Recentes estudos, ao serem classificados quanto à sua natureza têm sido divididos em Pesquisa Básica ou Fundamental e Pesquisa Aplicada ou Tecnológica sendo que o primeiro grupo seria composto pelos trabalhos que geram conhecimentos sem finalidades imediatas e que com o surgimento de necessidade específica seriam utilizados em Pesquisas Aplicadas ou Tecnológicas, trabalhos que possuem finalidades imediatas e que fazem uso do conhecimento gerado através de pesquisas básicas inseridas em um determinado processo ou situação.

Tendo em vista os conceitos expostos anteriormente o presente trabalho pode ser classificado como Pesquisa Aplicada ou Tecnológica, por relacionar conceitos já existentes sobre a pesquisa operacional e mais especificamente sobre a programação inteira binária em um ambiente de trabalho específico, no caso, o processo de manutenção contínua e suas dificuldades inertes como a alocação da mão de obra.

### 3.2.2 Quanto à Forma de Abordagem

De acordo com Gil apud Silva (2004), a pesquisa pode ser definida quanto à forma de abordagem de duas maneiras:

- Pesquisa Quantitativa: considera tudo o que pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Requer o uso de recursos e técnicas estatísticas (percentagem, media, moda, desvio padrão, coeficiente de regressão, etc.).
- Pesquisa Qualitativa: considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição dos significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para a coleta de dados e o pesquisador é o instrumento chave. É descritiva. Os

pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os principais focos de abordagem.

A partir desta definição, é possível afirmar que o estudo em questão representa uma pesquisa quantitativa por se tratar de um estudo de caso onde situações e características são traduzidas e expressas por números que, por sua vez, servem como dados de entrada para a resolução de um problema que fornecerá em sua saída, resultados também numéricos.

### 3.2.3 Quanto ao seu Objetivo

Ribeiro e Zabadal (2010, p. 30) afirmam que os estudos científicos, de forma geral, podem ter caráter exploratório, descritivo, explanatório ou preditivo, sendo que ainda alguns autores incluem o tipo explicativo. A última classificação provém de estudos feitos anteriormente como o de (Gil, 1991) que dividia as pesquisas quanto ao seu objetivo em apenas três grupos sendo eles de caráter exploratório, descritivo e explicativo.

Ainda segundo (Gil, 1991), a pesquisa exploratória, como é o caso desta monografia, visa proporcionar maior familiaridade com o problema visando torna-lo explícito ou construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e análises de exemplos que estimulem a compreensão. Assume, em geral, a forma de pesquisa bibliográfica e estudo de caso.

A pesquisa descritiva visa descrever as características de determinada população, fenômeno ou estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática. Assumindo em geral a forma de levantamento.

Ao se tratar de um estudo explicativo o objetivo principal seria identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de certos fenômenos. Aprofunda o conhecimento da realidade porque explica a razão de certas coisas. Quando realizada nas ciências naturais, requer o uso do método experimental e nas ciências sociais requer o uso do método observacional. Assume, em geral, a forma de pesquisa experimental e pesquisa *expost-facto*.

### 3.2.4 Quanto aos Procedimentos Técnicos

Miguel et al (2012) citam como principais métodos de pesquisa: o levantamento tipo *survey*, o estudo de caso, e a modelagem e simulação. Já Ribeiro e Zabadal (2010) classificam, de forma geral, os métodos de pesquisas em pesquisa bibliográfica, simulação, experimentação, pesquisa *survey*, estudo de caso e intervenções (pesquisa-ação).

O estudo de caso é um trabalho de caráter empírico que investiga um dado fenômeno dentro de um contexto real contemporâneo por meio de análise aprofundada de um ou mais objetos de análise (casos) (MIGUEL, FLEURY, et al., 2012).

Segundo Yin (2010), o estudo de caso, como qualquer outro método de pesquisa, complementa os pontos fortes e as limitações dos outros tipos de pesquisa. Ainda segundo o autor, este método permite reter as características holísticas e significativas dos eventos da vida real.

Ainda segundo Yin (2010) o estudo de caso é a estratégia preferida quando o pesquisador possui pouco controle sobre os eventos em análise e ainda quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real o que justifica a classificação desta pesquisa como tal.

## **3.3 Área da Pesquisa**

O trabalho em questão trata-se de uma pesquisa realizada no campo da engenharia de manutenção tendo como principal base teórica para alcance das melhorias traçadas nos objetivos iniciais os conceitos atuais relacionados à pesquisa operacional e uma de suas ramificações a programação inteira. Considerando a pesquisa operacional como uma ciência que possui um nível de abrangência ou aplicabilidade considerável, a área eleita para aplicação destes conceitos foi a alocação de mão de obra. O Objetivo principal é a realocação da mão de obra disponível no ambiente de manutenção mecânica de uma empresa de forma a se obter grupos de trabalho que apresentem desempenho uniforme e nível confiabilidade técnica constante. A partir disso espera-se diminuir os



gastos apresentados no passado com a repetição de atividades previamente desempenhadas por outras equipes (retrabalho) além de obter maior conforto no dimensionamento da força de trabalho disponível nos diferentes turnos operacionais. Além da diminuição dos gastos com retrabalho e perdas por baixa confiabilidade técnica operacional espera-se montar uma estrutura de programação sólida que possa ser utilizada no redimensionamento de equipes semelhantes no futuro.

A pesquisa está focada em um único estudo de caso, da qual utiliza como laboratório de pesquisa uma única empresa do setor de mineração.

A empresa escolhida tem como seu principal produto o minério de ferro. Atua fortemente em todo o território nacional e não somente no Brasil como também em outros 21 países pelo mundo.

Mesmo se tratando de um único estudo de caso a pesquisa, e principalmente a rotina de programação, foram estruturadas de forma a possibilitar a utilização dos resultados e da metodologia em situações semelhantes no futuro.

### **3.4 Técnicas de Coleta de Dados**

Os dados utilizados na elaboração do presente trabalho foram obtidos durante estágio realizado na própria empresa estudada entre Fevereiro de 2011 a Novembro de 2011.

A aquisição de tais dados se deu de forma não experimental, ou seja, não foi realizado nenhum tipo de teste específico ou comprobatório do valor do coeficiente atribuído a cada funcionário de acordo com os parâmetros estabelecidos como relevantes.

#### **3.4.1 Documentação Indireta**

Esta pesquisa teve a sua documentação indireta fortemente baseada na pesquisa bibliográfica, principalmente para o embasamento teórico do autor e da pesquisa com relação aos principais conceitos da pesquisa operacional e da programação inteira. A

pesquisa bibliográfica realizada se baseou nas mais recentes técnicas relacionadas ao assunto bem como nos principais nomes.

### 3.4.2 Documentação Direta

No presente trabalho foi utilizada a pesquisa de campo, que consiste na observação de fatos e coleta de dados relevantes no processo tal como ocorrem espontaneamente.

Para Tripodi et al (1975 apud Marconi e Lakatos 2009) as pesquisas de campo dividem-se em três grandes grupos:

- Quantitativos-Descritivos: consistem na investigação de pesquisa rotineira cuja principal meta é descrever ou analisar características de fatos ou fenômenos, a avaliação de programas, ou o isolamento de variáveis principais ou chave.
- Exploratórios: são investigações de pesquisa empírica cujo objetivo é a formulação de questões ou de um problema.
- Experimentais: consiste em investigações de pesquisa empírica cujo objetivo principal é o teste de hipóteses que dizem respeito à relação de tipo causa-efeito.

Durante a documentação direta foram levantados dados de suma importância para a realização da pesquisa, neste caso relacionados à desempenho dos grupos de trabalho em sua formação original. Este desempenho está diretamente ligado à performance dos equipamentos que compõem a frota a ser mantida em condições operacionais, por este motivo, pode ser mensurado e avaliado com base em parâmetros comuns no ambiente da engenharia de manutenção como, por exemplo, DF (Disponibilidade Física), MTBF (Tempo Médio Entre Falhas), MTTR (Tempo Médio de Reparo), entre outros.

### 3.4.3 Observação Direta Intensiva

Podem ser realizadas através de duas técnicas, observação ou entrevista.

A observação é uma técnica de coleta de dados para conseguir informações e utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade. Não consiste apenas em ver e ouvir, mas também em examinar fatos ou fenômenos que se desejam estudar (MARCONI e LAKATOS, 2009).

Na investigação científica são empregadas varias modalidades de observação, que variam de acordo com as circunstancias. Ander-Egg (1978 apud Marconi e Lakatos 2009) apresenta os seguintes tipos:

- Observação Assistemática: técnica de observação não estruturada;
- Observação Sistemática: também recebe várias atribuições, estruturada, planejada e controlada;
- Observação Não-Participante: o pesquisador toma contato com a comunidade;
- Observação Participante: participação real do pesquisador com a comunidade;
- Observação Individual: é a técnica de observação realizada por um pesquisador;
- Observação em Equipe: é a mais aconselhável do que a individual, pois o grupo pode observar a ocorrência por vários ângulos.
- Observação Vida Real: são feitas no ambiente real, registrando-se os dados à medida que forem ocorrendo.
- Observação em Laboratório: é aquela que tenta descobrir a ação e a conduta.

Dentre as técnicas de observação supracitadas as mais utilizadas no presente trabalho podem ser descritas como a observação sistemática e a observação vida real do ponto de vista que todos os dados adquiridos do banco de dados referentes a situações anteriores à concepção da pesquisa continuaram a ser adquiridos de forma sistemática e com maior nível de detalhe e análise técnica após o início do trabalho. Tal iniciativa foi tomada vislumbrando-se a possibilidade da aplicação dos resultados obtidos através da pesquisa. Caso tal aplicação seja feita, tornar-se-ia necessária uma comparação desses dados com os adquiridos futuramente no período de “pós-aplicação” com o objetivo de comprovar a eficácia dessa nova formação da força de trabalho.

#### 3.4.4 Observação Direta Extensiva

Realizam-se através de questionários, formulários, medidas de opinião e atitudes e de técnicas de mercado. No desenvolvimento desta pesquisa foi utilizada principalmente a técnica de questionários. A decisão de se utilizar questionários no levantamento de dados normalmente ocorre de forma eficaz, embora não tenha sido utilizada nenhuma forma de comprovação ao final da coleta.

O mesmo questionário de avaliação foi apresentado a três diferentes níveis de gestão, Gerência de Área, Supervisão Executiva e Supervisão Técnica, o resultado obtido é uma média simples baseada nas respostas provenientes dos três diferentes níveis, ou seja, sem qualquer distinção ponderativa no cálculo do coeficiente final.

### **3.5 Variáveis**

O conceito de variável para Marconi e Lakatos (2009) pode ser descrito como uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito operacional, que contém ou apresenta valores; aspecto, propriedade ou fator, discernível em um objeto de estudo e passível de mensuração.

Oliveira (2010) acrescenta que as variáveis estão relacionadas diretamente com o objetivo da pesquisa e são a fonte para elaboração dos instrumentos de pesquisa, sendo determinadas por meio de indicadores, os quais são fatores que possibilitam medir ou indicar a variável no fenômeno.

Considerando que esta pesquisa tem por objetivo principal uniformizar a performance das equipes de manutenção, levando em conta a avaliação previamente feita das habilidades dos mecânicos individualmente, uma maneira eficiente de mensurar a habilidade de um grupo seria através de uma média simples feita entre os coeficientes atribuídos a cada elemento de cada grupo formado. Ao se fazer uma simples análise a respeito da disparidade entre esses valores, ou seja, a diferença numérica entre eles é possível inferir se os grupos apresentam maior ou menor homogeneidade após a realocação proposta.

A medida mais comum de dispersão estatística utilizada atualmente é o desvio padrão. Sendo assim esta pesquisa irá se basear nos desvios padrões calculados entre as médias de habilidade apresentadas pelos grupos em suas diferentes formações, original e proposta, para uma análise efetiva da eficiência do modelo apresentado.

### 3.6 Tabulação e Análise de Dados

Os dados apresentados a seguir, na tabela 1, representam a situação original do problema onde M1, M2, M3, por exemplo, representam mecânico 1, 2, e 3 respectivamente. Da mesma forma encontra se representada a forma original na qual a mão de obra encontrava-se dividida no período em que se iniciou o desenvolvimento do estudo, ou seja, alocação inicial da mão de obra em grupos, que ao passar por uma análise detalhada da engenharia de manutenção, análise esta que será descrita com maiores detalhes no decorrer do estudo, deu origem a necessidade de uma proposta de remodelagem.

<b>Grupo</b>	<b>Componentes</b>				
<b>1</b>	M1	M2	M3	M4	M5
<b>2</b>	M6	M7	M8	M9	M10
<b>3</b>	M11	M12	M13	M14	M15
<b>4</b>	M16	M17	M18	M19	M20
<b>5</b>	M21	M22	M23	M24	M25

**Tabela 1 - Alocação original da mão de obra. Fonte: Atanzio (2012).**

De posse dos resultados obtidos através dos questionários previamente citados na seção 3.4, uma média simples entre os coeficientes atribuídos às habilidades de cada mecânico foi calculada. As médias atribuídas a cada membro do grupo de execução da manutenção estão representadas na tabela 2.

<b>Mecânico</b>	<b>Média</b>
<b>1</b>	1.8
<b>2</b>	1.6

<b>3</b>	1.4
<b>4</b>	1.6
<b>5</b>	1.4
<b>6</b>	2.8
<b>7</b>	2.6
<b>8</b>	2.6
<b>9</b>	2.6
<b>10</b>	2.6
<b>11</b>	1.4
<b>12</b>	1.4
<b>13</b>	1.4
<b>14</b>	1.8
<b>15</b>	2
<b>16</b>	2.6
<b>17</b>	2.8
<b>18</b>	2.2
<b>19</b>	2.8
<b>20</b>	2.8
<b>21</b>	2.4
<b>22</b>	2.8
<b>23</b>	2.2
<b>24</b>	2.8
<b>25</b>	2

**Tabela 2 - Média individual de habilidades dos mecânicos. Fonte: Atanzio (2012).**

Uma vez obtidos os valores das médias individuais dos componentes de cada grupo, um novo cálculo de média simples foi executado visando-se analisar a disparidade entre esses valores. O coeficiente médio atribuído a cada grupo levando-se em conta a habilidade média de cada componente está representado a seguir, na tabela 3.

<b>Grupo</b>	<b>Média</b>
<b>1</b>	1.56
<b>2</b>	2.64
<b>3</b>	1.60
<b>4</b>	2.64
<b>5</b>	2.44
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0.55</b>

**Tabela 3 - Habilidade média dos grupos e Desvio Padrão – Situação Inicial. Fonte: Atanzio (2012).**

A tabela 3 apresenta também o desvio padrão calculado entre os coeficientes médios atribuídos a cada grupo. De acordo com o conteúdo apresentado na seção 3.5, a análise do valor do desvio padrão será utilizada para mensurar a eficácia do modelo proposto considerando que o objetivo principal seria diminuir a disparidade entre as habilidades dos grupos e o desvio padrão, neste caso, representa a dispersão estatística apresentada entre os coeficientes médios de cada grupo.

## **4. ESTUDO DE CASO**

### **4.1 A Empresa**

O principal alvo de estudo desta pesquisa, empresa brasileira, privada e de origem estatal, representa a segunda maior mineradora do mundo pesquisando, produzindo e comercializando minério de ferro, níquel, cobre, carvão e bauxita, alumina, potássio, caulim, manganês, ferro-ligas, cobalto, metais do grupo de platina e metais preciosos. Além disso, atua nos setores de logística, energia e siderurgia. Suas atividades estão presentes em mais de 21 países sendo o Brasil o seu país de origem e o local onde está concentrada a maior parte de suas atividades.

O presente trabalho trata de uma proposta de melhoria cuja necessidade foi identificada durante a realização de estágio de caráter obrigatório, que se deu na empresa em questão, mais especificamente na Mina de Alegria do Complexo Minerador de Mariana formado pelas minas de Alegria, Fabrica Nova, Fazendão e Timbopeba.

### **4.2 Descrição do Problema**

O constante aumento da competitividade e das demandas de minério de ferro tanto no Brasil quanto no exterior, torna necessário que os estudos relacionados a engenharia de manutenção e à qualidade na execução do serviço nesta fase determinante do processo, periodicamente sejam revisados para atender de forma mais efetiva às

necessidades e anseios do mercado consumidor. Nesse sentido, e visando manter uma de suas maiores vantagens competitivas, a produção a baixo custo, surge a necessidade da implementação de melhorias no sistema de manutenção vigente, dentro de referido grupo de melhorias implementadas encontra-se o objeto de estudo do presente trabalho. Ao se tentar compreender de forma efetiva a essência da proposta de melhoria a ser apresentada, faz-se necessário o conhecimento do sistema de manutenção em si, como descrito a seguir.

#### 4.2.1 Engenharia de Manutenção

Ao se analisar a representação gráfica do Macro Processo de Manutenção (Figura 1) executado na Gerência de Manutenção de Equipamentos de Transporte (GAMTS) é possível perceber a presença de uma equipe de Engenharia de Manutenção. Esta equipe, de acordo com a divisão das atribuições vigente no período do surgimento da situação problema, seria responsável pelo acompanhamento, análise e implantação de melhorias no processo de manutenção. A interferência desta equipe no processo pode ocorrer tanto de forma macro, ou seja, alterando o fluxo original do processo, se necessário, quanto de forma pontual, tratando falhas específicas que possam gerar aumento na produtividade.

O controle e o acompanhamento dos índices utilizados para mensurar o grau de produtividade do processo também faz parte das competências da Engenharia de Manutenção. O estabelecimento de tais índices, ou parâmetros de acompanhamento, bem como o cálculo utilizado para a obtenção dos mesmos ocorre de acordo com o indicado pelas mais recentes técnicas relacionadas a análise de processos de manutenção. Os principais parâmetros utilizados na análise da produtividade do processo de manutenção no ambiente em questão estão listados a seguir:

- DF (Disponibilidade Física): Parcela do tempo total analisado em que o equipamento, ou frota, esteve disponível para a equipe de operação. Normalmente representada por porcentagem (%);
- MTBF (Tempo Médio Entre Falhas): Tempo médio apresentado pelo equipamento, ou frota, para apresentação de falha de origem não programada. Normalmente representado em horas (h);



- MTTR (Tempo Médio de Reparo): Tempo médio gasto pela equipe de execução na solução das falhas apresentadas pelo equipamento, ou frota.

Dentre os parâmetros previamente listados, aquele que possui maior influência ou representatividade na produtividade do processo seria a Disponibilidade Física ou DF. Apesar de a análise do grau de DF de um equipamento ou frota ser muito útil na identificação da necessidade de implantação de medidas de melhoria no processo, é com base nos demais parâmetros, Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) e Tempo Médio de Reparo (MTTR), que se obtém maior precisão na determinação do tipo de medida a ser tomada. A partir da análise de MTBF e MTTR é possível se obter informações não somente com relação à natureza da melhoria a ser implantada, mas também na definição da etapa específica do macro processo a ser revista.

Um determinado processo de manutenção pode apresentar um grau de DF satisfatório enquanto outros parâmetros não condizem com o histórico do fabricante. Isso significa que ainda que o processo esteja ocorrendo dentro dos padrões orçados pode estar havendo uma má utilização dos recursos disponíveis como, por exemplo, tempo, mão de obra, materiais, insumos, etc.

Conforme citado anteriormente nesta pesquisa, o atual cenário econômico não permite que se mantenha em posição de liderança, ou até mesmo em situação confortável, concorrentes que não se preocupem com todos os detalhes do processo produtivo. Partindo dessa premissa surge a necessidade de se promover ação imediata visando aumento no período de tempo em que os equipamentos, em média, apresentam falhas de origem não programada, ou seja, visando melhoras no indicador de manutenção MTBF da frota em análise.

A análise detalhada do processo, baseada em uma baixa performance relacionada ao MTBF da frota, resultou na proposta de melhoria que futuramente veio a se tornar objeto de estudo do presente trabalho. A partir do histórico das falhas, pode-se perceber a ocorrência frequente de equipamentos componentes da frota que apresentavam falhas idênticas em um curto período de tempo. Este fator representa baixa confiabilidade técnica da equipe de manutenção, que resulta na execução repetida do mesmo procedimento em curto espaço de tempo, também conhecido como retrabalho. Ao interferir no processo de manutenção de maneira a evitar a ocorrência desta situação, é possível

aumentar o tempo entre as falhas de origem não programada apresentadas por um mesmo equipamento, resultando em um aumento no MTBF da frota como um todo.

A partir disso, é sugerida uma realocação da mão de obra de execução da manutenção com o objetivo de diminuir a disparidade entre as habilidades das equipes executantes aumentando a confiabilidade técnica do grupo em geral consequentemente diminuindo a ocorrência de falhas reincidentes (retrabalho).

Com o objetivo de aperfeiçoar a redefinição dos referidos grupos, no decorrer desta pesquisa fez-se necessário o uso de ferramentas ligadas à pesquisa operacional e seus principais conceitos. Tal processo será descrito neste capítulo tendo início na aquisição dos dados necessários para uma análise detalhada da situação, a modelagem matemática do problema em questão, ou seja, a representação da situação problema em linguagem matemática tornando possível a busca por uma solução computacional e por fim uma breve discussão acerca dos resultados obtidos.

### **4.3 Aquisição de Dados**

O estabelecimento dos parâmetros apresentados a seguir se deu levando em conta as características necessárias para a formação de uma equipe de manutenção apta a atuar no ambiente estudado.

A definição de tais características baseia-se na experiência da equipe responsável pela gestão de tal atividade, levando em consideração situações ocorridas no passado e estratégias de melhoria traçadas para a execução da mesma atividade no ano seguinte.

A partir disso os parâmetros principais utilizados na análise da qualidade técnica e confiabilidade de um grupo de trabalho formado no ambiente de manutenção previamente descrito são:

- Agilidade – Referente a agilidade do funcionário avaliado durante a execução de tarefas de rotina;

- Eficiência – Parâmetro que mede o grau de eficiência do indivíduo sob análise durante operações fora da oficina, atendimento no campo;
- Experiência – Relativo ao tempo de exposição do funcionário à atividade executada;
- Proatividade – Avaliação do grau de interesse de cada membro da avaliação em antecipar a resolução de eventuais problemas que possam surgir no decorrer da execução das atividades de rotina;
- Segurança – Parâmetro utilizado para avaliação da noção de segurança, tanto individual quanto coletiva, de cada componente da equipe, leva em conta o histórico de envolvimento em acidentes além de observação do encarregado pela segurança da equipe;
- Carteira – Representa se o funcionário é autorizado a conduzir veículo automotor no interior da área industrial da empresa;
- SDP3 – Indica se o funcionário possui autorização para utilizar o Software SDP3 que promove a comunicação entre os equipamentos da frota e os computadores da oficina.

Dentre os parâmetros listados previamente, os dois últimos, Licença para Dirigir e Acesso ao Software SDP3, não são representados por coeficientes quantitativos (de 0 a 3 como nos demais casos), mas sim por variáveis binárias (0 ou 1) por se tratarem de características essenciais (restrições) para a formação de um grupo elegível de acordo com os parâmetros analisados.

De acordo com o conteúdo apresentado na seção 3.4 a atribuição dos coeficientes que representam o grau de evolução, ou experiência, de cada indivíduo foi feita levando-se em consideração o resultado obtido através dos questionários apresentados à liderança.

Os dados obtidos após esse processo estão representados na tabela 4:

<b>Mecânico</b>	<b>Agilidade</b>	<b>Proatividade</b>	<b>Eficiência</b>	<b>Experiência</b>	<b>Segurança</b>
M1	3	3	3	2	3
M2	2	2	2	2	3
M3	3	3	1	3	3
M4	2	2	2	2	3
M5	3	2	1	3	2
M6	3	3	2	3	3
M7	2	1	2	2	2
M8	2	3	2	2	3
M9	3	3	1	3	3
M10	3	3	3	2	2
M11	2	2	2	2	1
M12	2	3	3	2	3
M13	3	3	1	2	3
M14	3	3	2	1	3
M15	2	3	1	2	2
M16	3	3	3	2	2
M17	3	2	3	3	3
M18	3	3	1	2	2
M19	1	2	2	2	2
M20	2	3	3	3	3
M21	3	3	1	2	3
M22	3	3	3	2	3
M23	2	2	3	1	3
M24	3	3	3	2	3
M25	3	3	3	2	3

**Tabela 4 – Avaliação da mão de obra.**

**Fonte: Pesquisa direta 2011**

Além da classificação de tais mecânicos de acordo com suas habilidades foram levantados também os dados que representam entre eles quais são aqueles habilitados para conduzir veículo de transporte no interior da empresa bem como aqueles que possuem permissão para utilizar o software SDP3.

De acordo com a tabela 5, os dados obtidos após esse levantamento foram:

<b>Mecânico</b>	<b>Acesso SDP3</b>	<b>Permissão para dirigir</b>
M1	0	0
M2	0	1
M3	0	0
M4	1	1
M5	1	0
M6	1	1
M7	0	1
M8	1	0
M9	1	0
M10	1	0
M11	0	0
M12	0	1
M13	1	0
M14	0	1
M15	0	0
M16	0	1
M17	1	0
M18	1	1
M19	1	1
M20	0	0
M21	0	1
M22	0	1
M23	0	0
M24	0	0
M25	1	0

**Tabela 5 – Funcionários com permissão para dirigir e acesso ao software SDP3**  
**Fonte: Pesquisa direta 2011.**

#### **4.4 Modelagem Matemática**

De acordo com conceitos previamente vistos no capítulo 2, o primeiro passo ao se fazer uma análise sobre o ponto de vista da pesquisa operacional é a observação e modelagem minuciosas do problema, incluindo a coleta de dados. Segundo Taha (2008), a próxima etapa seria construção de um modelo tipicamente matemático que represente a essência do problema real. Admite-se que então que o modelo é uma representação suficientemente precisa das características essenciais da situação e que as considerações e as conclusões obtidas a partir do modelo também serão válidas para o problema real.

Ainda sobre o ponto de vista da PO, três itens são essenciais na representação matemática de um problema, as variáveis de decisão ou variáveis de escolha, a função objetivo e as restrições.

Com base nestes conceitos, seria correto afirmar que o problema em análise nesta pesquisa ao ser representado matematicamente como um PPI (Problema de Programação Inteira), apresenta a seguinte forma:

### Variáveis de Decisão

$X(i, j)$  – Indica se o mecânico “ $i$ ” está, ou não, alocado no grupo “ $j$ ”.

$X(i, j) \rightarrow \forall i \in \text{mecânico} \cap \forall j \in \text{grupo}$

### Função Objetivo

Função que visa alcançar matematicamente o objetivo do problema inicial, ou seja, a situação que deu origem ao problema. Para isso, conforme já citado na seção 3.6 Tabulação e Aquisição de Dados criou-se um vetor com os valores médios dos parâmetros analisados.

$$\text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^{25} |(X(i, j) * \text{Agilidade}(i)) - \text{Agilidade}_M| \\ + \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^{25} |(X(i, j) * \text{Proatividade}(i)) - \text{Proatividade}_M| \\ + \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^{25} |(X(i, j) * \text{Eficiencia}(i)) - \text{Eficiencia}_M| \\ + \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^{25} |(X(i, j) * \text{Experiencia}(i)) - \text{Experiencia}_M| \\ + \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^{25} |(X(i, j) * \text{Seguranca}(i)) - \text{Seguranca}_M| \end{array} \right.$$

## Restrições

Qualquer solução da função objetivo, para que faça parte também do grupo de soluções viáveis do problema deve respeitar as seguintes restrições, ou seja, o problema está sujeito a:

- I) Cada mecânico será alocado em apenas um grupo;

$$\sum_{j=1}^5 X(i, j) = 1 \quad \forall i \in \text{mecânico}$$

- II) Cada grupo será formado, exatamente, por cinco mecânicos;

$$\sum_{i=1}^{25} X(i, j) = 5 \quad \forall j \in \text{grupo}$$

III) Cada grupo deverá conter pelo menos um membro autorizado a utilizar o software SDP3;

$$\sum_{i=1}^{25} X(i, j) * SDP3(i) \geq 1 \quad \forall j \in \text{grupo}$$

IV) Cada grupo deverá conter pelo menos um membro autorizado a conduzir veículo automotor no interior da mina;

$$\sum_{i=1}^{25} X(i, j) * Carteira(i) \geq 1 \quad \forall j \in \text{grupo}$$

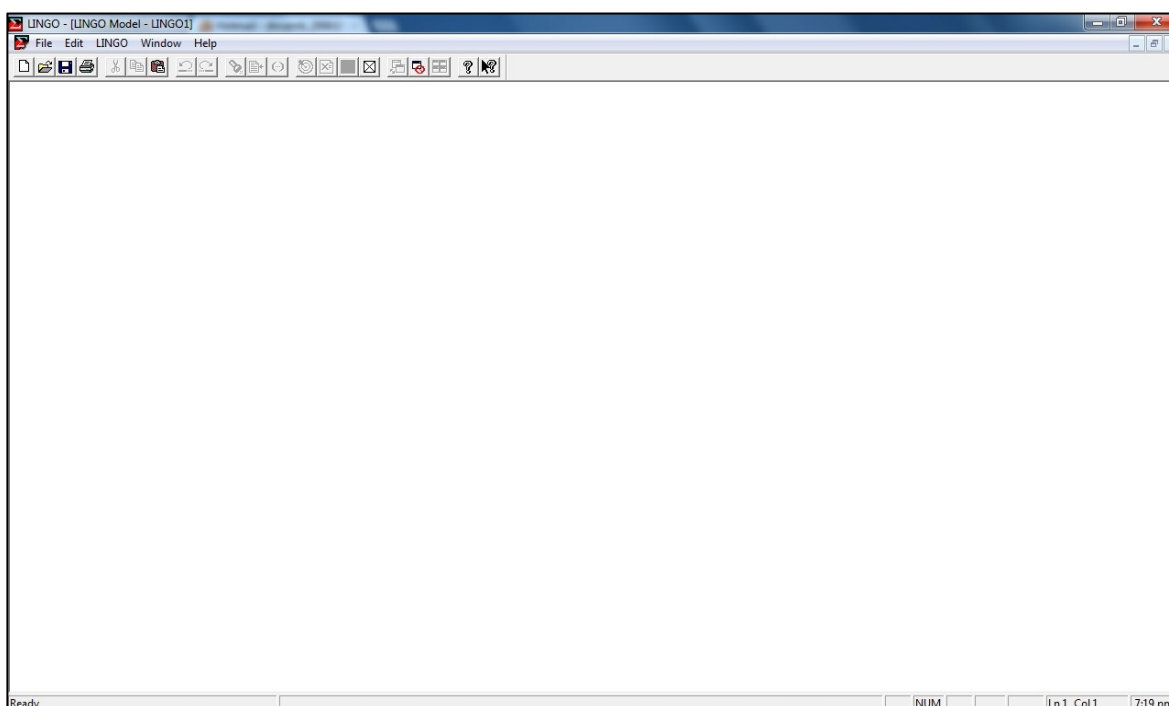
- V)  $X(i, j)$  representa uma variável binária;

$$X(i, j) \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \text{mecânico} \cap j \in \text{grupo}$$

## 4.5 Ferramentas Utilizadas

Para o desenvolvimento computacional do problema abordado, foram utilizadas as ferramentas *Microsoft Excel* e *Lindo Lingo*. Por se tratar da única das ferramentas que não é de uso popular, em seguida serão dados certos esclarecimentos a respeito de *Software Lingo* bem como seu funcionamento e estrutura.

De acordo com Pereira (2008), o software Lingo e sua linguagem de modelagem também conhecida como Lingo foram desenvolvidos no objetivo de resolver problemas de programação linear e não-linear, desde os mais simples até os mais complexos. A sua interface consiste em uma barra de menus, uma barra de ferramentas e do ambiente de programação do modelo. Os modelos implementados no Lingo podem ser alterados facilmente de forma a atenderem a novas situações. A figura 2 mostra a interface do programa Lingo em sua versão 7.0.



**Figura 2 – Interface Software Lingo 7.0**

Os modelos em Lingo além de poderem ser desenvolvidos no ambiente de programação do Lingo também pode ser implementados de forma integrada com o software MS Excel e até mesmo com arquivos de texto do bloco de notas. É possível ainda exportar os resultados obtidos através do solver do Lingo para a planilha de onde foram lidos os dados no MS Excel. Neste trabalho o modelo construído para propor uma solução viável ao estudo de caso fará uso de algumas das funções de integração entre o Lingo e o MS Excel com o objetivo de facilitar a entrada de dados no problema e evitar possíveis erros de inserção ou falhas similares.

O modelo desenvolvido no decorrer desta pesquisa ao ser transcrito para a linguagem de programação Lingo é representado da seguinte forma:



MODEL:

!DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS;

SETS:

MECANICO: AGILIDADE, PROATV, EFIC\_CAMPO, EXPERIENCIA, SEGURANCA, SDP3, CARTEIRA;

GRUPO / G1 G2 G3 G4 G5/;

LINKS (MECANICO, GRUPO): X;

ENDSETS

!FUNÇÃO @OLE (AQUISIÇÃO DOS DADOS REGISTRADO NA PLANILHA DO MICROSOFT EXCEL DADOS\_MONOGRAFIA.xls);

DATA:

MECANICO, AGILIDADE, PROATV, EFIC\_CAMPO, EXPERIENCIA, SEGURANCA, SDP3, CARTEIRA, AGILIDADE\_M, PROATV\_M, EFIC\_CAMPO\_M, EXPERIENCIA\_M, SEGURANCA\_M =

@OLE('DADOS\_MONOGRAFIA.xls', 'MECANICO', 'AGILIDADE', 'PROATV', 'EFIC\_CAMPO', 'EXPERIENCIA', 'SEGURANCA', 'SDP3', 'CARTEIRA', 'AGILIDADE\_M', 'PROATV\_M', 'EFIC\_CAMPO\_M', 'EXPERIENCIA\_M', 'SEGURANCA\_M');

ENDDATA

!FUNÇÃO OBJETIVO (MINIMIZAR A DISPARIDADE ENTRE AS DIFERENTES HABILIDADES DOS GRUPOS COM RELAÇÃO AO VETOR HABILIDADE MEDIA);

MIN = @SUM( GRUPO (J): @SUM (MECANICO(I): @ABS(X(I,J)\*AGILIDADE(I) - AGILIDADE\_M)) )  
+ @SUM( GRUPO (J): @SUM (MECANICO(I): @ABS(X(I,J)\*PROATV(I) - PROATV\_M)) )  
+ @SUM( GRUPO (J): @SUM (MECANICO(I): @ABS(X(I,J)\*EFIC\_CAMPO(I) - EFIC\_CAMPO\_M)) )  
+ @SUM( GRUPO (J): @SUM (MECANICO(I): @ABS(X(I,J)\*EXPERIENCIA(I) - EXPERIENCIA\_M)) )  
+ @SUM( GRUPO (J): @SUM (MECANICO(I): @ABS(X(I,J)\*SEGURANCA(I) - SEGURANCA\_M)) );

!SUJEITO ÀS SEGUINTE RESTRIÇÕES.;

!I) CADA MECANICO SÓ PODERÁ SER ALOCADO EM 1 GRUPO;

@FOR( MECANICO( I):  
@SUM( GRUPO( J): X( I, J)) <= 1);

!II) CADA GRUPO DEVERÁ SER FORMADO POR EXATAMENTE 5 MECANICOS;

@FOR( GRUPO( J):  
@SUM( MECANICO( I): X( I, J)) = 5);

!III) CADA GRUPO DEVERÁ CONTER PELO MENOS 1 MEMBRO QUE UTILIZAR O SDP3;

@FOR( GRUPO( J):  
@SUM( MECANICO( I): X( I, J)\*SDP3(I)) >= 1);

!IV) CADA GRUPO DEVERÁ CONTER PELO MENOS 1 MEMBRO QUE DIRIJA;

@FOR( GRUPO( J):  
@SUM( MECANICO( I): X( I, J)\*CARTEIRA(I)) >= 1);

!V) TRANSFORMANDO X(I,J) EM UMA VARIÁVEL BINÁRIA;

@FOR(LINKS(I,J): @BIN(X));

END

## 4.6 Resultados

Após a compilação do modelo proposto com o auxílio do *Software Lingo*, a solução apresentada pelo programa como sendo a mais eficaz dentre todas aquelas que compõem o grupo de soluções viáveis, ou seja, a solução ótima está representada na tabela 6.

<b>Grupo</b>	<b>Componentes</b>				
<b>1</b>	M3	M14	M16	M17	M18
<b>2</b>	M7	M8	M9	M15	M23
<b>3</b>	M1	M2	M10	M20	M21
<b>4</b>	M4	M6	M11	M24	M25
<b>5</b>	M5	M12	M13	M19	M22

**Tabela 6 – Realocação proposta da mão de obra**  
**Fonte: *Software Lingo***

Dando continuidade ao procedimento adotado durante a fase de tabulação e análise dos dados obtidos através desta pesquisa, calcula-se o coeficiente médio de cada grupo, levando em consideração a média calculada anteriormente e atribuída individualmente aos elementos de cada grupo. Os coeficientes médios calculados para os grupos da solução proposta podem ser verificados na tabela 7.

<b>Grupo</b>	<b>Média</b>
<b>1</b>	2.16
<b>2</b>	2.40
<b>3</b>	2.24
<b>4</b>	2.12
<b>5</b>	1.96
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0.16</b>

**Tabela 7 - Habilidade média dos grupos e Desvio Padrão – Solução**  
**Fonte: *Software Lingo***

Uma vez calculados os coeficientes médios que relacionam as habilidades de cada integrante dos grupos, torna-se possível repetir o cálculo do desvio padrão, variável de suma importância no processo de análise da eficácia da solução proposta pelo modelo apresentado, conforme feito anteriormente no decorrer deste trabalho. O novo valor desta

variável encontrado após a reformulação dos grupos encontra-se representado, também na figura 7.

## **5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **5.1 Conclusões**

Ao se levar em consideração apenas o objetivo principal da situação cuja problemática torna-se objeto de estudo desta pesquisa, é possível afirmar que a solução proposta é eficaz. Do ponto de vista das variáveis definidas como chave para esta avaliação, neste caso o desvio padrão e as habilidades médias de cada grupo, é de simples compreensão que a solução proposta pelo modelo apresenta uma menor disparidade estatística, ou seja, apresenta valores mais uniformes ou homogêneos do que a situação inicial do problema, tal fato comprova-se matematicamente no cálculo de uma destas variáveis, o desvio padrão, que apresenta um valor menor ao ser calculado a partir dos dados obtidos após a execução do modelo em comparação à situação original. Visto isso, fica comprovada a eficácia do modelo embora outros fatores, que na prática seriam de suma importância, não tenham sido levados em consideração. A inserção de um destes aspectos, não considerados no decorrer desta pesquisa, em trabalhos futuros será apresentada a seguir como sugestão para o desenvolvimento de trabalhos correlacionados.

### **5.2 Recomendações**

Ao se realizar uma pesquisa de cunho puramente científico envolvendo seres humanos que interagem e se relacionam a todo o momento, certas falhas podem ser facilmente identificadas quando não se leva em consideração os fatores, tanto negativos quanto positivos, existentes em decorrência do relacionamento humano.

Esta pesquisa trata da alocação de mão de obra apenas no sentido prático e executivo, sem levar em consideração fatores como a sinergia de certos grupos ao serem formados ou até mesmo a ausência disto na formação de outros. Na busca por uma representação mais fiel dos problemas existentes ao se alocar e realocar pessoas ao contrário de máquinas, certas restrições podem ser adicionadas ao modelo proposto, que possivelmente gerariam ganhos consideráveis. Tais restrições seriam inclusas no sentido de garantir que a solução proposta não venha a ser a fonte geradora de um ambiente de conflitos alocando no mesmo grupo, dois indivíduos que historicamente não apresentem um bom rendimento ao trabalhar em equipe.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Rui. *Programação Linear Inteira*: 1º ed. Porto: Faculdade do Porto, 1997

ANDRADE, R. Q., OLIVEIRA, L. M., Silva, P. J., SILVA, A. L. *Aplicação do Algoritmo de Branch & Bound na resolução do problema de alocação de salas da Escola de Minas (UFOP)* In: III Encontro Fluminense de Engenharia de Produção, 2011, Rio de Janeiro. Anais do III ENFEPro. , 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO – ABRAMAN. *Documento Nacional*. 2009. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br>>. Acesso: 01 Mai. 2011

BRADLEY, S; HAX, A.; Magnanti, T., *Applied Mathematical Programming* Massachusetts, Wesley Publ. Company, 1977.

COSTA, Ana Luiza. *Aplicação da simulação computacional no mapeamento do fluxo de operações de uma empresa de manutenção de motores elétricos*. Monografia de Graduação em Engenharia de Produção – UFOP. Ouro Preto – MG, 2009.

HILLIER, S. F; LIEBERMAN, G. J.; *Introduction to Operational Research* 8º Ed. New York: McGraw-Hill, Inc., 2008.

KARDEC, A., NASCIF, J., BARONI, T. *Gestão estratégica e técnicas preditivas*. 1ª Reimpressão. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAN, 2007.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Metodologia Científica*. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick (coordenador) *et al. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MOBLEY, R. K. Total Productive Maintenance In: MOBLEY, R. K., HIGGINS, L. R., WIKOFF, D. J. (Coord.). *Maintenance Engineering Handbook*. 7. Ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

MONTALVÃO, Eduardo. *Modelo de programação linear inteira mista para o problema do sequenciamento de manutenção industrial com restrição de recursos*. Monografia de Graduação em Engenharia de Produção – UFOP. Ouro Preto – MG, 2011.

OLIVEIRA, Edson A. C. de. *A utilização do Controle Estatístico de Processos em uma empresa de Fabricação de Aços Especiais do Estado de Minas Gerais*. Monografia de graduação em Engenharia de Produção, UFOP. Ouro Preto - MG, 2007.

OLIVEIRA, Elis E. de Souza. *Aplicação de ferramentas de controle da qualidade como auxílio no tratamento e redução de perdas: estudo de caso em um processo de*

*tratamento de minérios de uma unidade industrial situada em Minas Gerais*. Monografia de graduação em Engenharia de Produção, UFOP. Ouro Preto - MG, 2010.

PRADO, Darci. ***Programação Linear***: 6º ed. Rio de Janeiro: Cosmo, 2012.

QUINTÃO, Rafael. ***Proposta de roteirização de veículos coletores de resíduos urbanos em Itabira/MG***. Monografia de Graduação em Engenharia de Produção – UFOP. Ouro Preto – MG, 2011.

RAO, S. S.; ***Engineering Optimization - Theory and Practice***. 1º Ed. New Delhi, India: New Age International (P) Ltda, 2008.

RIBEIRO, V. G.; ZABADAL, J. R. S. ***Pesquisa em computação***: uma abordagem metodológica para trabalhos de conclusão de curso e projetos de iniciação científica. Porto Alegre: Editora UniRitter, 2010.

SILVA, C. R. de O., ***Metodologia e Organização do projeto de pesquisa***. Centro Federal de Educação Tecnológica. Fortaleza: 2004

SILVA, A. L., Silva, P. J. ***Modelagem computacional do problema de alocação de mercadorias*** In: Simpósio de Engenharia de Produção da Região Nordeste, 2012, Mossoró. Anais do VII SEPRONE. , 2012.

TAHA, Hany A.. ***Pesquisa Operacional***: 8º ed. Rio de Janeiro: Cosmo, 2008.

VALE, disponível em: < <http://www.vale.com.br>>. Acesso em: 24 de junho 2011.

VIANA, H. R. G. ***Planejamento e Controle da Manutenção***. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

VIANA, H. R. G. ***Planejamento e Controle da Manutenção***. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

WAYNE, L. Winston. ***Operations Research applications and algorithms***: 4º ed. Indianapolis: Duxbury Press, 2003.

WAZLAWICK, Raul Sidnei. ***Metodologia de pesquisa para ciência da computação***. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

XENOS, H. G. d'Philippos. ***Gerenciando a Manutenção Produtiva***. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004.

YIN, Robert K. ***Estudo de caso***: planejamento e métodos. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.