



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Jackson Kêntelly Marculino de Souza

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMO INSTRUMENTO DE APOIO
ÀS TOMADAS DE DECISÃO E MUDANÇAS DE CENÁRIOS PARA
MELHORIAS NA PRODUTIVIDADE: O CASO DA MINERAÇÃO
CARAÍBA S/A**

Juazeiro - BA
2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Jackson Kêntelly Marculino de Souza

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMO INSTRUMENTO DE APOIO ÀS
TOMADAS DE DECISÃO E MUDANÇAS DE CENÁRIOS PARA
MELHORIAS NA PRODUTIVIDADE: O CASO DA MINERAÇÃO
CARAÍBA S/A**

Trabalho apresentado à Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Tecnológico, como requisito para obtenção de nota na disciplina de Trabalho Final de Curso – Monografia.

Orientador: Prof. MSc. Edson Tetsuo Kogachi

Juazeiro – BA
2016

S729m Souza, Jackson Kêntelly Marculino de.
Modelagem e simulação como instrumento de apoio às tomadas de decisão e mudanças de cenários para melhorias na produtividade: o caso da Mineração Caraíba S/A / Jackson Kêntelly Marculino de Souza --Juazeiro-BA, 2016.

XIII; 71 f. : il. ; 29cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro-BA ,2016.

Orientador: Prof.Edson Tetsuo Kogachi.

1. Simulação (Computadores) 2. Modelagem. Arena (Programa de computador).I. Título. II. Kogachi, Edson Tetsuo. III.Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 003.3

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**FOLHA DE APROVAÇÃO
Para TFC**

Jackson Kêntelly Marculino de Souza

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMO INSTRUMENTO DE
APOIO ÀS TOMADAS DE DECISÃO E MUDANÇAS DE
CENÁRIOS PARA MELHORIAS NA PRODUTIVIDADE: O CASO
DA MINERAÇÃO CARAÍBA S/A**

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito para obtenção do Título de Engenheiro de Produção, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco


Edson Tetsuo Kogachi, MSc - UNIVASF
Orientador


Ângelo Antônio Macedo Leite, DSc. - (UNIVASF)
Avaliador Interno


Carlos Antônio Freitas da Silva, MSc - UNIVASF
Avaliador Externo

Aprovado pelo Colegiado de Engenharia de Produção em 16/03/16

O presente trabalho é dedicado a toda minha família, que sempre me apoiou para que eu conseguisse chegar aos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus;

A meu pai Valter Cezar e minha mãe Alaíde Marculino, por acreditarem em meu esforço e incentivar-me a continuar crescendo profissionalmente e pessoalmente;

Agradeço a minha irmã Queite Jaqueline pela ajuda nos momentos de dificuldade;

A empresa Mineração Caraíba S/A pelo apoio na realização desta monografia.

Aos colaboradores da Mineração Caraíba S/A por confiarem na minha capacidade e dedicação.

Ao professor Edson Tetsuo Kogachi, por me ajudar na elaboração desta Monografia, me guiando e auxiliando para melhor desenvolver as atividades.

Ao corpo docente que me ajudou direta e indiretamente para a minha formação.

Aos meus amigos e companheiros de estudo, que sempre me ajudaram a alcançar os objetivos.

“Eu chamo de bravo aquele que ultrapassou seus desejos, e não aquele que venceu seus inimigos; pois a mais dura das vitórias é a vitória sobre si mesmo.”

(Aristóteles)

SOUZA, Jackson Kêntelly Marculino de. **Modelagem e Simulação como Instrumento de Apoio às Tomadas de decisão e Mudanças de Cenários para Melhorias na Produtividade: O caso da Mineração Caraíba S/A.** Trabalho Final de Curso_ Monografia. Juazeiro (BA). Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2016.

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso – Monografia, estuda as atividades ligadas ao processo de carregamento e transporte de minério em uma mineração a céu aberto. Foram coletados os tempos de movimentação de minério de cobre mediante a cronoanálise durante regime típico nos quatro turnos operacionais da mineração. Os dados foram tratados com a utilização do Software de Simulação de Processos Produtivos, Arena, que otimizou os processos, eliminando perdas e gargalos, através de simulações de diferentes cenários em busca da redução do tempo de ciclo operacional dos veículos de movimentação de carga. A intenção deste modelo computacional foi reproduzir a realidade do sistema de transporte, permitindo a introdução de variáveis sem o risco de afetar a operação real. Com os dados obtidos de diferentes cenários foram identificadas alternativas para aumentar a produtividade na atividade de carregamento e transporte de minérios, melhorando a eficiência operacional. Foram utilizadas metodologias de natureza aplicada com abordagens qualitativa e quantitativa gerando resultados e avaliações além de proceder pesquisa bibliográfica que deram suporte a modelagem e simulação de ensaios computacionais.

Palavras-chaves: Software Arena. Software de Simulação dos Processos Produtivos. Atividade de Carregamento e Transporte de Mineração a Céu Aberto.

SOUZA, Jackson Kêntelly Marculino de. **Modeling and Simulation as a Tool to instrument Decision-making and Scenario Changes for Improved Productivity: The Case of Mining Caraíba S/A.** Coursework_Monograph. Juazeiro (BA). Federal University of the Vale do São Francisco, 2016.

ABSTRACT

This coursework - Monograph studies the ore loading and transportation activities in an open pit mining. Were collected from the times of copper ore handling by *cronoanálise* during typical regimen in the four mining operational shifts. The data were treated with the Production Process Simulation Software, Arena, which optimized the processes, eliminating losses and bottlenecks, through simulations of different scenarios in search of better use of the drive and cargo vehicles. The intent of this computational model was reproduce the reality of the transporting system, allowing the introduction of variables without the risk of affecting the actual operation. With the data obtained from different scenarios, alternatives were identified to increase productivity in the charging and transport of minerals, improving the operational efficiency. Applied nature methodologies were used with approaches qualitative and quantitative, generating results and assessments, beyond proceed procedures literature review that supported the modeling and simulation of the computational studies.

Key-words: Arena Software. Production Process Simulation Software. Loading and Transportation Activities in an Open Pit Mining.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01- LOCALIZAÇÃO DA MINERAÇÃO CARAÍBA S/A	20
FIGURA 02- ORGANOGRAMA DA MINERAÇÃO CARAÍBA S/A.....	20
FIGURA 03- CICLO DA ATIVIDADE DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE	22
FIGURA 04- CICLO DA ATIVIDADE DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE	23
FIGURA 05- CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS	26
FIGURA 06- ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO MODELO	29
FIGURA 07- EVENTOS E FLUXOGRAMA	31
FIGURA 08- INTERFACE DO <i>SOFTWARE</i> ARENA	32
FIGURA 09- LOCALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS	34
FIGURA 10- MODELO DA MINERAÇÃO	35
FIGURA 11- DIMENSÕES DA QUALIDADE	37
FIGURA 12- PROCEDIMENTO DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS	46
FIGURA 13- FLUXOGRAMA ATIVIDADE DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE DA MINA	50
FIGURA 14- ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (EH)	51
FIGURA 15- CAMINHÃO ARTICULADO DE 30 TONELADAS (CA)	52
FIGURA 16- CAMINHÃO BASCULANTE DE 35 TONELADAS (CB)	52
FIGURA 17- MODELO COMPUTACIONAL	56
FIGURA 18- MODELO ANIMADO	57
FIGURA 19- CONFIGURAÇÃO DO BLOCO CREATE DO CAMINHÃO CA	58
FIGURA 20- CONFIGURAÇÃO DO BLOCO CREATE DO CAMINHÃO CB	58

FIGURA 21- CONFIGURAÇÃO DO BLOCO ASSIGN DO CAMINHÃO CA	59
FIGURA 22- CONFIGURAÇÃO DO BLOCO ASSIGN DO CAMINHÃO CB	59
FIGURA 23- CONFIGURAÇÃO DO BLOCO STATION DOS CAMINHÕES	59
FIGURA 24- CONFIGURAÇÃO DO BLOCO LEAVE DOS CAMINHÕES COM DESTINO AO PÁTIO DA MINA	60
FIGURA 25- BLOCO STATION – ESTAÇÃO PÁTIO DA MINA	60
FIGURA 26- CONFIGURAÇÃO DO BLOCO PICKSTATION 1 – SELECIONA O EQUIPAMENTO DISPONÍVEL	61
FIGURA 27- CONFIGURAÇÃO DO BLOCO PROCESS – RECURSO DOS EQUIPAMENTOS DE CARGA	61
FIGURA 28- CONFIGURAÇÃO DO BLOCO LEAVE DOS CAMINHÕES COM DESTINO A PILHA DE ESTOCAGEM	62
FIGURA 29- BLOCO STATION – ESTAÇÃO ÁREA DE DESCARREGAMENTO	62
FIGURA 30- CONFIGURAÇÃO DO BLOCO PICKSTATION 2 – SELECIONA PILHA DE ESTOCAGEM DISPONÍVEL	63
FIGURA 31- CONFIGURAÇÃO DO BLOCO PROCESS – RECURSO DAS PILHAS DE ESTOCAGEM	63
FIGURA 32- CONFIGURAÇÃO DO BLOCO DECIDE – DECISÃO SE VAI TRANSPORTAR MAIS MATERIAL OU FINALIZAR O TURNO	64
FIGURA 33- CONFIGURAÇÃO DO MÓDULO LEAVE DOS CAMINHÕES COM DESTINO AO PÁTIO DA MINA	64
FIGURA 34- CONFIGURAÇÃO DO MÓDULO DISPOSE – FIM DO TURNO	64
FIGURA 35- ALTERAÇÃO DO MÓDULO CREATE	68

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01- VARIÁVEIS DE ENTRADAS E SAÍDAS	48
QUADRO 02- VARIÁVEIS DE ENTRADA DOS CAMINHÕES BASCULANTE (CB) ..	53
QUADRO 03- VARIÁVEIS DE ENTRADA DOS CAMINHÕES ARTICULADOS (CA)	53
QUADRO 04- DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DOS CAMINHÕES BASCULANTES (CB)	54
QUADRO 05- DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DOS CAMINHÕES ARTICULADOS (CA)	54
QUADRO 06- FALHAS DURANTE O PROCESSO	55
QUADRO 07- UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS	55
QUADRO 08- LIGAÇÕES DAS ROTAS E DESTINOS DO MODELO SIMULADO	57
QUADRO 09- CENÁRIOS ALTERNATIVOS	69
QUADRO 10- DADOS PARA CÁLCULOS DOS CUSTOS	69
QUADRO 11- QUANTIDADE DE EQUIPAMENTOS	70
QUADRO 12- GANHOS EM PRODUÇÃO	70
QUADRO 13- REDUÇÃO COM GASTOS DE TERCEIROS	70
QUADRO 14- REDUÇÃO COM GASTOS DE EQUIPAMENTOS PRÓPRIOS	71
QUADRO 15- RESULTADOS	71
QUADRO 16- CRONOGRAMA	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BA - BAHIA

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL

CE – CONTROLE ESTATÍSTICO

DMT – DISTÂNCIA MÉDIA DE TRANSPORTE

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL

FIFO – FIRST IN, FIRST OUT

KM - QUILOMETRO

MCSA – MINERAÇÃO CARAÍBA S/A

PE - PERNAMBUCO

PO – PESQUISA OPERACIONAL

TFC – TRABALHO FINAL DE CURSO

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 PROBLEMÁTICA	14
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo Geral	17
1.3.2 Objetivos Específicos.....	17
1.4 ESTRUTURA DO PROJETO.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 MINERAÇÃO DE COBRE NO BRASIL	19
2.2 MINERAÇÃO CARAÍBA S/A.....	19
2.3 ATIVIDADE DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE DE MATERIAL	21
2.4 MODELAGEM E SIMULAÇÃO	23
2.4.1 Definição.....	23
2.4.2 Evolução da Simulação	24
2.4.3 Classificação e Terminologias	25
2.4.4 Passos para Elaboração do Modelo de Simulação Virtual.....	27
2.4.5 Vantagens	29
2.5 SOFTWARE ARENA.....	30
2.5.1 Software Arena e a Simulação	30
2.5.2 Interface do Software Arena	31
2.5.3 Variáveis do Sistema	32

2.5.4 Utilização Na Mineração.....	34
2.6 PESQUISA OPERACIONAL.....	36
2.7 CONTROLE ESTATÍSTICO	37
2.8 CRONOMETRAGEM	38
3. METODOLOGIA.....	40
3.1 MEIOS DE PESQUISA	40
3.1.1 Quanto A Natureza.....	40
3.1.2 Quanto A Abordagem	40
3.1.3 Quanto Aos Propósitos.....	41
3.1.4 Quanto aos Métodos da Pesquisa ou Procedimentos Técnicos	43
3.2 CAMPOS DE ATUAÇÃO.....	44
3.3 PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	45
4. ESTUDO DE CASO	47
4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO.....	47
4.2 ABORDAGEM SISTEMÁTICA.....	47
4.3 FORMULAÇÃO DO MODELO SIMULADO	48
4.3.1 Coleta De Dados.....	49
4.3.2 Conceito Do Modelo	49
4.3.3 Análise Dos Dados Coletados	52
4.3.4 Atividade De Carregamento E Transporte.....	55
4.3.5 Modelagem Do Sistema.....	56

4.4 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO SIMULADO	65
5. RESULTADOS E ANÁLISES	67
5.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	67
5.2 CENÁRIOS ALTERNATIVOS AO SISTEMA REAL	68
5.3 DIAGNÓSTICO DOS CENÁRIOS.....	69
6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	73
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
6.2 COLABORAÇÃO DA MONOGRAFIA.....	73
6.3 TRABALHOS POSTERIORES.....	74
6.4 RECOMENDAÇÕES.....	74
REFERÊNCIAS	75
APÊNDICE A	79
APÊNDICE B.....	81

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

A administração do tempo é de fundamental importância para o aproveitamento dos recursos, tanto na qualidade de vida dos seres humanos quanto nas práticas dos direitos e deveres de cada um, ou seja, deve-se fazer um planejamento do tempo a todo instante.

As indústrias de bens minerais sempre buscam aproveitar ao máximo os recursos minerais, sejam em atividades de lavra ou em beneficiamento mineral, utilizando-se sempre dos processos mais eficientes, melhores máquinas, instalações modernas, entre outros métodos de melhoria.

A Mineração Caraíba S/A destaca-se pela qualidade nos seus processos e responsabilidade social. Em 2011 a empresa recebeu o Prêmio Chico Mendes de Responsabilidade Social, recebeu por quatro anos o Prêmio de melhor empresa do setor mineral, na categoria Mineração de Médio Porte, sendo o último deles no ano de 2014.

A empresa também incentiva os trabalhadores a realizarem pesquisas e trabalho, tanto no meio acadêmico, quanto no meio industrial, visando aumentar a qualidade em suas atividades.

A partir deste cenário de constante inovação, foi oportuno iniciar estudos de dimensionamento de frotas de equipamentos de carregamento e transporte de minério da mina a céu aberto, relacionadas à produtividade.

Portanto, o estudo dos tempos associados à modelagem, utilizando-se Softwares de Simulação tem aplicação extremamente importante dentro do cenário industrial, pois sem interferência na produção podem otimizar variáveis importantes, tais como: tempos de ciclo, tempos normais, tempos padrões, tolerâncias etc.

De acordo com Freitas Filho (2008), a utilização da simulação computacional está inserida cada vez mais nos processos produtivos. Todo esse crescimento da utilização dos Softwares de Simulação deve-se ao fato da facilidade de manuseio dos programas e sofisticação dos cenários de desenvolvimento de modelos computacionais, juntamente ao crescente poder de processamento das estações de trabalho.

Com a ajuda de interfaces gráficas cada vez mais modernas, destinadas às mais diversas plataformas, e principalmente, fazendo intenso uso da animação dos sistemas que estão sendo simulados, a simulação computacional deixou para trás o estigma de ser utilizada apenas quando tudo mais já foi tentado.

Freitas Filho (2008) enfatiza que:

“A simulação tem sido cada vez mais aceita e empregada como uma técnica que permite aos analistas dos mais diversos seguimentos (administradores, engenheiros, biólogos, técnicos em informática, etc.) verificarem ou encaminharem soluções, com a profundidade desejada, aos problemas com os quais lidam diariamente”.

Com este estudo minucioso referente aos ciclos dos equipamentos, se cria modelos e cenários virtuais para identificação das melhores configurações para cada equipamento, visando atender determinada produtividade e qualidade na atividade realizada, além do constante monitoramento no surgimento de anomalias nos ciclos produtivos. Assim obtêm-se informações com a finalidade de minimizar as perdas de utilização e baixas produtividades, agregando valor ao processo com economias na produção como: Custo do combustível, materiais de reposição mecânica, retrabalhos, entre outros.

Visa ser instrumento utilizado para suporte nas decisões dentro da empresa, no que se refere à aquisição de novos equipamentos, contratação de mão-de-obra qualificada, nível de produção e contratação de empresas terceirizadas.

Nesta Monografia procura-se ilustrar, através do *Software* ARENA, que a simulação computacional pode ser uma ferramenta útil como instrumento de análise estratégica das atividades operacionais de extração de minério da Mineração Caraíba S/A.

Diante dos fatos expostos, uma questão faz-se pertinente: **Qual a Importância da Simulação dos Processos Produtivos na Atividade de Carregamento e Transporte para melhoramento da Produção de uma Mineração localizada no município de Jaguarari - BA?**

1.2 JUSTIFICATIVA

A mineração passa por um avanço cada vez maior no que tange o setor de controle de processos, seja na etapa de carregamento e transporte ou nas etapas de beneficiamento de minério, onde se tem a necessidade de controlar suas atividades e verificar o comportamento dentro de um período de análise.

A análise do trabalho e o estudo de tempos juntamente com a simulação permitem a busca de uma maneira eficaz para a execução de uma tarefa e, portanto, melhorar a eficiência do processo. A consequência direta da eficiência é a produtividade, ganho com volumes de recursos utilizados. Neste contexto, a empresa Mineração Caraíba S/A (MCSA) necessita destas informações para poder ter conhecimento da capacidade produtiva de seus equipamentos e melhorar o desenvolvimento de suas atividades, reduzindo anomalias nos processos e desperdícios.

Nos trabalhos científicos de simulação a seguir, a pesquisa gerou resultados satisfatórios, aumentando a capacidade produtiva, identificando gargalos e perdas nos processos.

Utilização de *software* de Simulação com a finalidade de fornecer informações referentes a capacidade produtiva da mina, possibilitando encontrar soluções e aplicá-las reduzindo as perdas, de acordo com trabalho feito por Thiago Francioli Souza, 2009.

Estudo de simulação onde foi apresentada uma ferramenta eficiente para a análise tempos e custos de ativos de transporte e fluxos de materiais utilizado em processos que são caracterizados por carácter dinâmico, trabalho realizado por MSc. Pop-Andonov e colaboradores, 2011.

Artigo científico onde apresenta brevemente como a simulação, modelo em Arena, foi utilizada para identificar a melhor combinação de equipamentos de construção para escavar 25.000 m³ de rochas em um dia na montanha localizada na Coréia do Sul, trabalho feito por Julian H. Kang, 2006.

A importância destes estudos está na possibilidade de identificar falhas ou improdutividades na operação, permitindo buscar melhorias nos sistemas produtivos. Todos esses estudos obtiveram resultados positivos, mostrando que a utilização correta do *software* ARENA é altamente eficaz.

Havendo resultados satisfatórios na utilização da simulação em determinada atividade do processo dentro da empresa em estudo, será possível estender gradativamente a metodologia a outros setores, trazendo benefícios operacionais, aumentando a qualidade e eficiência da empresa.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Demonstrar a importância da Simulação Computacional como ferramenta de auxílio à tomada de decisão em uma mineração na Atividade de Carregamento e Transporte de Minério.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para conseguir atingir o objetivo geral, se faz necessário a implementação de objetivos específicos, sendo eles:

- a. Simular a atividade de carregamento e transporte de minério com a utilização do *software* ARENA;
- b. Validar o modelo de simulação computacional com o sistema real em estudo;
- c. Desenvolver cenários alternativos, mostrando vantagens e desvantagens do processo atual de carregamento e transporte, possibilitando propor melhorias na atividade desenvolvida;

1.4 ESTRUTURA DO PROJETO

A estrutura do projeto é composta por seis etapas, sendo elas: Introdução, Referencial Teórico, Metodologia, Estudo de Caso, Resultados e Análises e Considerações Finais.

Neste primeiro capítulo está a Introdução, que aborda as características do tema escolhido, a formulação do problema, os objetivos gerais e específicos para atingir os resultados esperados, bem como as justificativas para estudar o tema escolhido.

No segundo capítulo aborda-se o Referencial Teórico que traz informações sobre a empresa e atividade em estudo, conceitos de autores que são utilizados durante a pesquisa, relacionados com a modelagem e simulação, *software* ARENA, pesquisa operacional e controle estatístico. Serviu de base para formulação da pesquisa e na simulação do processo produtivo na atividade de carregamento e transporte da mineração.

No terceiro capítulo, está a contextualização da Metodologia utilizada para a realização de todo o procedimento utilizado no projeto de pesquisa, bem como os passos utilizados para a obtenção dos dados e suas respectivas análises.

O quarto capítulo exibe o dimensionamento da frota de equipamentos, bem como a situação atual das operações na mina com dados tratados e os cálculos para a inserir os dados no sistema.

No quinto capítulo são analisados os resultados obtidos, juntamente com a análise dos cenários alternativos, buscando encontrar melhorias no processo.

No sexto capítulo são feitas as Considerações Finais, levantando questões pertinentes ao tema estudado e recomendações para melhorias nos processos indicando redução de perdas de produtividade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MINERAÇÃO DE COBRE NO BRASIL

O território brasileiro tem em seus mais de 8,5 milhões de Km², uma imensa variedade de terrenos e formações geológicas, conferindo-lhe uma grande diversidade de minerais, abrangendo 72 substâncias das quais 23 são metálicas, 45 são não-metálicas e 4 são energéticas.

Ao analisar o consumo de cobre brasileiro, com base no histórico dos últimos anos, observa-se forte e expressiva retomada a partir dos anos 90, quando passou a crescer com taxas médias anuais acima de 6%. A explicação para tal comportamento é a alta demanda ocorrida nos setores elétricos, eletrônicos e telecomunicações, onde o cobre tem intensivo consumo. Entretanto, o Brasil ainda é dependente de importação de minério de cobre para suprir sua demanda.

O cenário da mineração de cobre no Brasil indica que toda a concentração do metal está sob controle de apenas três empresas mineradoras sendo elas a Vale que é a líder do segmento, seguida pela Mineração Maracá S/A e a Mineração Caraíba.

Com exceção da Mineração Caraíba, a mais antiga mina de cobre em operação no país, todas as demais unidades produtoras, sejam elas voltadas exclusivamente para mineração de cobre ou tenham o cobre como subproduto, são minas novas e modernas com menos de seis anos de operação. A produtividade média na mineração do cobre no Brasil situa-se no patamar de 100 toneladas de cobre contido por empregado/ano.

2.2 MINERAÇÃO CARAÍBA S/A

A MCSA é uma mineradora situada no norte da Bahia, mais precisamente no Distrito de Pilar, município de Jaguarari, tendo mais de 1300 colaboradores diretos e quase 2000 no total.

O depósito da empresa foi descoberto em 1874 e, em 1944, o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) identificou o potencial produtivo. No ano de 1969 iniciou-se os estudos de viabilidade.

Em 1979, iniciou-se as atividades de operação da mina a céu aberto, sendo que em 1986, com a entrada em operação da Mina Subterrânea, o minério de cobre era retirado simultaneamente das duas fontes.

Conta hoje com as unidades Matriz e Suçuarana, que são responsáveis pela produção anual de Concentrado de Cobre e de Catodo de Cobre. Toda produção de Concentrado de Cobre e Catodo de Cobre é direcionada ao mercado interno.

Localizado a 16 km da unidade matriz, a mina Suçuarana é o local onde foi feito o estudo da atividade de carregamento e transporte de material.

A mina dista aproximadamente 506 km de Salvador e 120 km de Juazeiro-BA e as cidades mais próximas são Uauá - BA, Senhor do Bonfim-BA, Juazeiro-BA e Petrolina-PE, sendo estas as principais cidades que dão acessos e suportes ao Distrito de Pilar, como mostra a Figura 01.

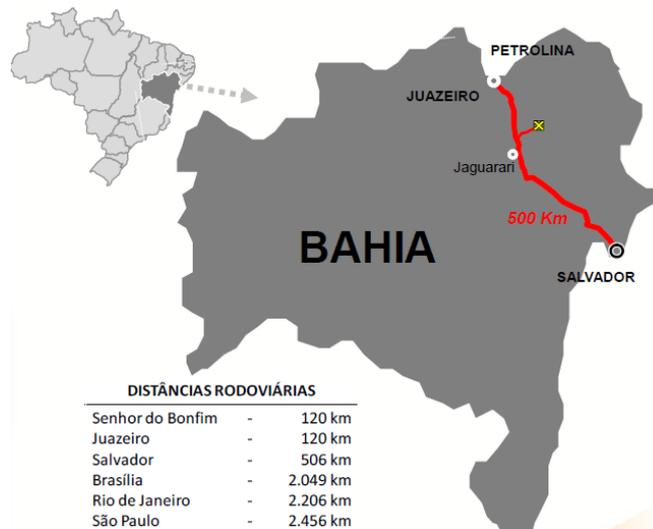


Figura 01: Localização Mineração Caraíba S/A
Fonte: Intramina (site corporativo) / 2015

A empresa está dividida em vários setores e tem a seguinte estrutura organizacional, como mostra a Figura 02:

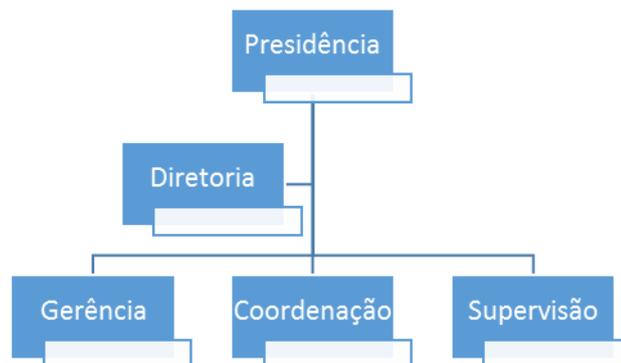


Figura 02: Organograma da Mineração Caraíba S/A.
Fonte: Do autor / 2015

A empresa utiliza uma estrutura onde observa-se que as atividades e tomadas de decisão apresentam uma verticalidade, sendo a presidência com maior poder de decisão e subdivisões com menor poder de decisão chamadas de coordenação, gerência e supervisão.

2.3 ATIVIDADE DE CARREGAMENTO E TRANSPORTE DE MATERIAL

Em minas a céu aberto, os caminhões se deslocam até uma das frentes de lavra, sejam essas de minério ou estéril, e após serem carregados, vão descarregar em depósitos de estéril, pilhas de homogeneização ou na usina de beneficiamento.

O método de lavra a céu aberto é realizado simultaneamente em diferentes pontos da mina, desde que se tenham equipamentos disponíveis para a atividade designada. Os equipamentos de carga, uma vez alocados, continuarão em operação até que a área programada para o carregamento seja totalmente lavrada. Esse período de tempo entre a alocação dos equipamentos e o término da lavra de um dos blocos é denominado ordem de lavra. Assim que uma ordem de lavra é encerrada, os equipamentos estão livres para serem realocados até outro bloco e comecem o trabalho de desmonte e carregamento.

Amaral (2008) cita que todo o controle das atividades de carregamento e transporte de material são feitas por meio de um plano de lavra ou plano de produção, desenvolvida pelo setor de planejamento, consistindo na programação dos avanços a serem realizados na mina no decorrer do tempo. As informações referentes à distribuição e a produção a ser implementada por cada equipamento de carga, os planos de produção possibilitam a previsão mais detalhada das quantidades lavradas de material. Alguns critérios devem ser atendidos, como a garantia das condições de segurança e a manutenção da vida útil da mina.

Araújo (2006) define que a determinação das frentes dos caminhões pode ser estática ou dinâmica. Quando se define a alocação estática, cada caminhão é designado a um ponto de carga e a um ponto de descarga deslocando-se apenas entre esses dois pontos durante um determinado período de tempo. Já na alocação dinâmica, cada caminhão é direcionado para um ponto específico, a cada carga e/ou descarga, de acordo com critérios preestabelecidos.

Na mina em questão a frota de caminhões é alocada de forma dinâmica, tendo em vista que o processo ocorre em pontos diferentes da mina. Para atender a necessidade de dimensionamento de frota de caminhões por equipamento de carregamento será realizado este trabalho de ciclos e com estes resultados em mãos dimensionar a quantidade ótima dessa frota para determinada frente e distância média de transporte (DMT).

Chirones (1985), afirma que a quantidade de caminhões necessários por equipamento de carga é dada pela divisão do tempo de ciclo (sem o carregamento) pelo tempo de carregamento do caminhão (que varia com o equipamento de carga), desta forma não há formação de filas.

A atividade de carregamento e transporte de material em uma mineração consiste na subdivisão de atividades, sendo elas: Manobra no Ponto de Carga; Carregamento;

Deslocamento Carregado Manobra no Ponto de Descarga; Descarga; e Deslocamento Descarregado. Esse ciclo é mostrado abaixo nas Figuras 03 e 04:

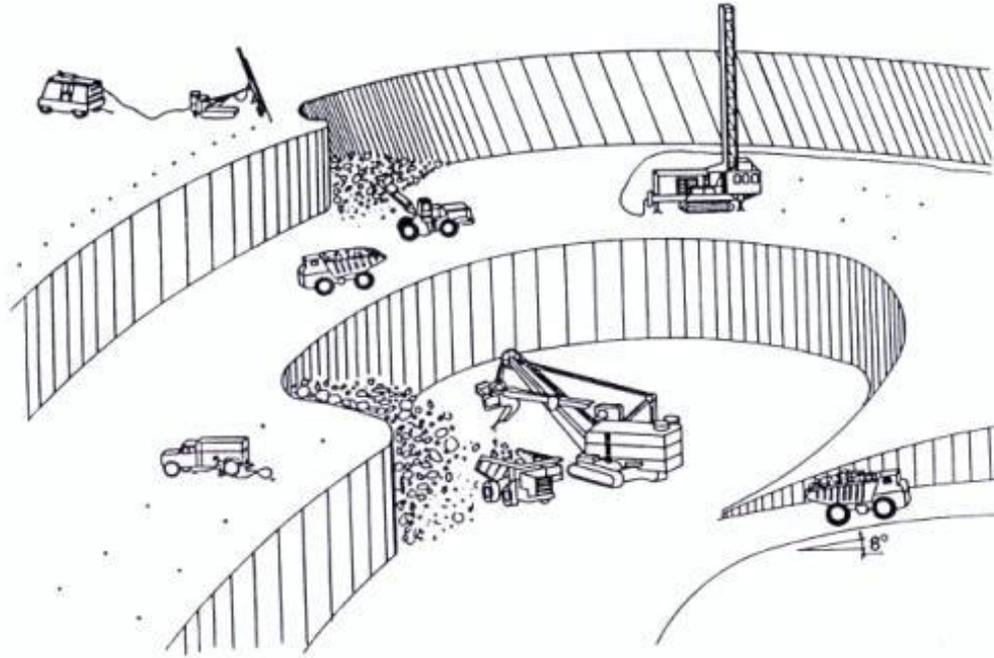


Figura 03: Ciclo da Atividade de Carregamento e Transporte de Material

Fonte: Do autor / 2015

A imagem acima mostra como está dividida a atividade em uma mina a céu aberto e todas as etapas para a sua realização.

Na Figura 04 é mostrado o ciclo, que tem a finalidade de descrever como funciona a atividades de carregamento e transporte de material na MCSA.

Para cada atividade são coletadas informações referentes aos métodos e medidas referentes ao processo.

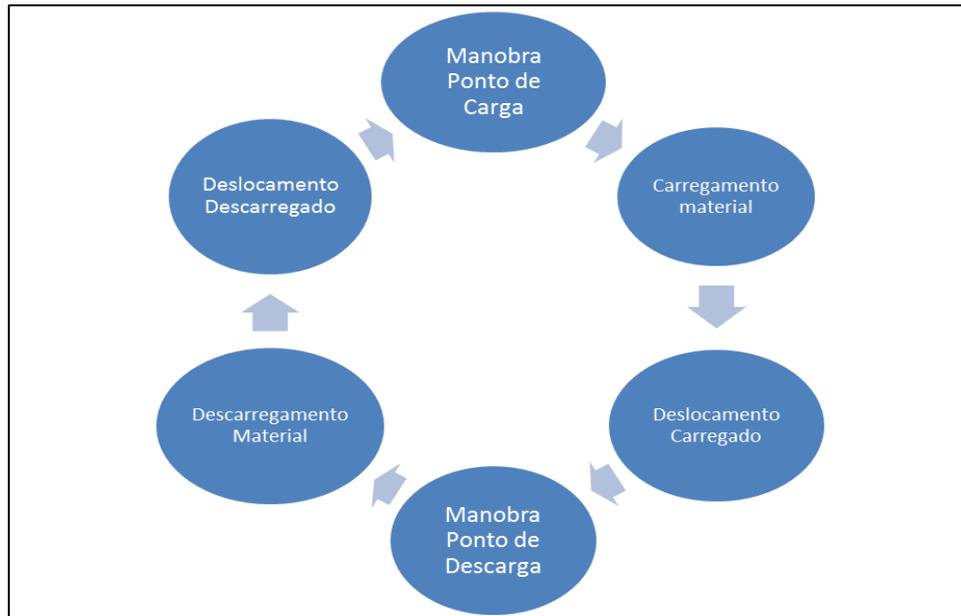


Figura 04: Ciclo da Atividade de Carregamento e Transporte de Material

Fonte: Do autor / 2015

O transporte do material lavrado é realizado por caminhões, divididos em frotas formadas por equipamentos idênticos ou não. Um equipamento de carga deve trabalhar em conjunto com caminhões transportadores compatíveis, o que ocorre nos casos em que o número de ciclos de operação necessários para encher a caçamba do caminhão pode ser expresso por um número inteiro, resultando na máxima utilização dos dois tipos de equipamentos na atividade designada.

2.4 MODELAGEM E SIMULAÇÃO

2.4.1 Definição

A modelagem pode ser expressa como a compreensão de vários paradigmas da própria modelagem apropriados à condução de simulações em ambientes virtuais. Já a simulação é a parte onde o pesquisador irá compreender, desenvolver, verificar, validar e alterar os cenários dos experimentos para a obtenção de melhores alternativas.

A simulação é considerada uma das ferramentas da Pesquisa Operacional (P.O.), tendo em vista que a mesma tem características que englobam várias ciências como economia, matemática pura e aplicada, juntamente com a simulação dos processos produtivos, tendo como principal característica a análise para tomadas de decisões. Para conhecimento, os tipos de modelos utilizados em P.O. relacionado à modelagem são a otimização dos processos e simulação de cenários.

- Otimização dos Processos: aplicados quando as variáveis são determinísticas e os dados estruturados para a escolha de uma única alternativa, sendo esta considerada ótima, obedecendo à restrição estabelecida;
- Simulação de Cenários: usados em sistemas onde as variáveis são estocásticas, possibilitando a análise de cenários alternativos para auxiliar na tomada de decisão. Sendo assim, a simulação não apresenta a solução ótima, e sim, uma resposta do sistema a uma determinada modificação em sua configuração.

Sakurada (2003) enfatiza que a simulação é uma ferramenta com característica de apoio as tomadas de decisão utilizando modelos para reprodução de sistemas e resolução de problemas cuja solução analítica se mostre visível ao pesquisador.

Steffen (2005) afirma que a simulação é uma ferramenta que tem a capacidade de expressar a realidade de um sistema em um ambiente virtual, sendo flexível, contemplando a variedade do sistema em estudo, mostrando resultados dinâmicos, de acordo com os parâmetros em questão.

Já para Prado (2003), a simulação é uma técnica que visa a solução de problemas utilizando um modelo que tem a capacidade de descrever um determinado processo utilizando um computador e exibindo informações digitais.

2.4.2 Evolução da Simulação

A simulação teve início com o império romano, quando os mesmos utilizavam a simulação das batalhas com exércitos azuis e vermelhos, para poder traçar a melhor estratégia no campo de batalha.

No período mais recente, a simulação foi utilizada com maior frequência durante a segunda guerra mundial, onde se utilizavam simuladores numéricos de processos para o desenvolvimento de bombas atômicas utilizando o método de Monte Carlo.

O método de Monte Carlo utiliza números aleatórios e probabilidades para avaliar e possibilitar a resolução de problemas. Esse método teve início nos Estados Unidos da América, durante a Segunda Guerra Mundial, tendo como desenvolvedores os cientistas John Von Neumann e Stanislaw Ulam.

Após a segunda guerra, foram utilizados simuladores de combates onde eram envolvidos mais de um combatente e diferentes estratégias de defesas.

Na década de 50, foram desenvolvidos e utilizados simuladores com mecanismos físicos via radares, onde os operadores e controladores de armas tinham a capacidade de

reagir sobre alvos simulados, sendo estes bem semelhantes à visão que tinham das primeiras transmissões de televisão.

Já na década de 70, o setor militar liderou as pesquisas e os recursos destinados à plataforma de simulação, sendo nesta época desenvolvida a primeira linguagem propriamente dita da simulação, o Fortran. Nos meados dos anos 80, foram desenvolvidos ambientes de simulação em microcomputadores, a partir daí sendo utilizados em praticamente todos os segmentos da indústria, tendo a capacidade de processar de maneira fácil e rápida os ambientes estudados.

Segundo Martins (2006), a evolução da modelagem e simulação está diretamente relacionada a evolução dos hardwares e inovações de softwares.

O autor também enfatiza que nas décadas de 60 e 70, a simulação era absurdamente cara, utilizando ferramentas que só grandes corporações detinham, além de necessitar de mão de obra altamente qualificada, pois a construção dos modelos necessitava de conhecimentos acima da média. Geralmente eram compostos por doutores que trabalhavam em universidades, centros de pesquisas e no ramo militar que na época desenvolviam sistemas grandes e complexos, como o *Fortran*.

No fim da década de 70 e início dos anos 80 houve uma melhora na velocidade dos computadores e a baixa do preço dos mesmos. Desta forma facilitou-se a aquisição destes *softwares* por partes das pequenas empresas, assim, iniciando a sua expansão.

Nos dias atuais, o uso de simuladores em empresas cresceu bastante, porém ainda não atingiu o nível esperado, principalmente, pela falta de capacitação de funcionários, dificultando a difusão dos mesmos.

2.4.3 Classificação e Terminologias

Segundo Ventura (2005), existem diversas maneiras de classificar a simulação. Uma das utilizadas é a seguinte:

Estática ou Dinâmica: as simulações estáticas visam mostrar e modelar atividades onde não são desenvolvidas nenhuma forma de mudanças nos processos, sendo assim, os postos ficam parados. Porém a maioria das simulações, dos modelos de operações, é dinâmica onde as atividades não ficam paradas, sendo assim, ocorrem mudanças em seus processos. O *software* Arena foi desenvolvido com esta ideia, com esta visão, buscando a melhor forma de representar modelos dinâmicos.

Contínuo ou Discreto: no modelo contínuo o estado do sistema pode mudar a cada momento. Um exemplo seria o nível da maré da praia. No modelo discreto as mudanças

ocorrem em pontos separados no tempo. Como por exemplo, peças que chegam e saem de uma etapa de um processo produtivo ou descansos de funcionários. Também é possível a presença de elementos com as duas características no mesmo modelo.

Determinístico ou Estocástico/Aleatório: os modelos que não possuem uma variação de entradas, *inputs*, são determinísticos. Já os modelos estocásticos ou aleatórios possuem uma variação de entradas, por exemplo, a chegada de clientes a um banco em intervalos de tempo. Um modelo pode possuir os dois tipos, tanto determinístico como estocástico, para componentes diferentes. O *software* Arena trabalha facilmente com ambos e aceita diferentes tipos de distribuição de probabilidades para representar a variabilidade destes componentes.

Estas definições ficam melhor exemplificadas na Figura 05.

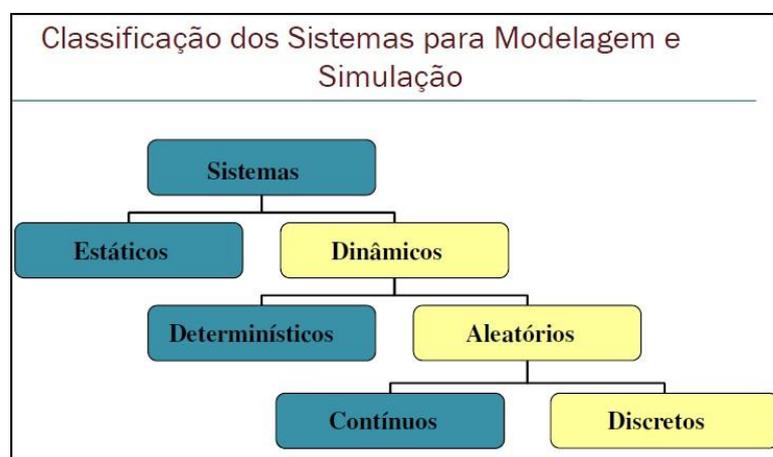


Figura 05: Classificação dos Sistemas
Fonte: Paulo Freitas / 2008

Diversos termos técnicos são utilizados em projetos de simulação. Nessa seção serão apresentados termos muito utilizados na sequência deste trabalho.

Entidades e Atributos: as entidades são a parte dinâmica do sistema a ser analisado. É o que moverá entre as estações de trabalho, que são os pontos onde ocorre algum atendimento às entidades. Já os atributos, segundo Freitas Filho (2008), são as características próprias das entidades, isto é, aquelas que a definem totalmente. Os atributos associados às entidades também dependem do tipo de investigação que está sendo levada a efeito. Resumindo, atributo é uma característica particular de cada entidade, e quando esse é alterado em alguma estação de trabalho, só será alterado para aquela entidade. Ex: Tempo de deslocamento de uma entidade de uma estação a outra, é um atributo daquela entidade, ou seja, quando a entidade passa pela estação de trabalho inicial, cria-se um atributo para a entidade de valor zero, quando a entidade passa pela estação de trabalho final, lê-se o tempo novamente, registrando assim o tempo de deslocamento daquela entidade. Outro exemplo de atributo é a capacidade de uma entidade que é característica particular dela.

Recursos: um recurso, segundo Freitas Filho (2008), é considerado uma entidade estática que fornece serviços às entidades dinâmicas, em uma estação de trabalho. Um recurso pode ter a capacidade de servir uma ou mais entidades dinâmicas ao mesmo tempo. Se uma entidade dinâmica não puder se apoderar de um recurso solicitado, ela deverá aguardar por ele em uma fila. A política de uma fila depende das características do sistema, o mais comum é o *FIFO (First in, first out)*, primeiro a entrar, primeiro a sair. No entanto pode-se considerar outra política, tal como, dar prioridade para algum tipo de entidade que chegue para ser atendida pelo recurso.

Variáveis de Estado: são as variáveis que determinam o estado de um sistema. Segundo Freitas Filho (2008) as variáveis de estado constituem o conjunto de informações necessárias à compreensão do que está ocorrendo no sistema ou no modelo representando este sistema num determinado instante no tempo, com relação aos objetos de estudo. As variáveis são características do sistema que se deseja analisar, exemplo, tamanho de filas para atendimento em uma estação de trabalho. Ao contrário dos atributos, as variáveis não são características particulares das entidades, são características do sistema, logo podem ser alteradas por qualquer entidade.

Eventos: segundo Freitas Filho (2008) eventos são acontecimentos, ocorrências, programados ou não, os quais, quando ocorrem, provocam uma mudança de estado em um sistema. Um exemplo é a chegada de uma entidade no sistema analisado.

2.4.4 Passos para elaboração do modelo de Simulação Virtual

De acordo com Law e McComas (1992), existem oito elementos que são fundamentais para a correta execução de um projeto envolvendo a simulação, sendo estes divididos em três classes: Gerencial, Precisão dos Dados e Técnica.

Gerencial:

1. Problema deve ser formulado corretamente;
2. Emprego de técnicas de gerenciamento de projetos.

Técnica:

1. Deve-se ter conhecimento sobre as metodologias envolvendo a simulação, seus métodos estocásticos envolvendo a pesquisa operacional junto com a teoria das probabilidades e conhecimentos em estatísticas;
2. A modelagem deve obter a aleatoriedade do processo de forma razoável;
3. A escolha do *software* deve ser adequada e sua utilização de forma correta;

4. As análises e interpretações dos dados de entradas e saídas devem utilizar procedimentos estatísticos coerentes.

Precisão dos Dados:

1. Obtenção de informações corretas da operação do sistema e lógica de controle;
2. Validade e Credibilidade do modelo devem ser estabelecidas.

A partir destes elementos citados, Law e Kelton (1982) afirmam que se deve seguir uma metodologia no estudo da simulação, desenvolvendo a partir daí uma estrutura para gerenciar as diferentes etapas do processo. Os mesmos dividem esta estrutura em etapas, sendo demonstradas a seguir:

1ª etapa: Formulação do problema e planejamento do estudo. Nesta fase identifica-se a demanda de desenvolvimento do modelo a ser simulado, para o sistema que deseja ser analisado. Com a comprovação da demanda, deve-se planejar o desenvolvimento do projeto, sendo esta etapa muito importante, pois ela irá direcionar o rumo a ser seguido para desenrolar o projeto.

2ª etapa: Consiste na coleta de dados e Formulação do modelo. Considerada a fase mais importante do trabalho, pois a representatividade do modelo só será correta, caso os dados que forem coletados correspondam à realidade do problema e/ou processo. O pesquisador deverá ter envolvimento total no processo e junto às pessoas que fazem parte do mesmo. Uma observação importante é que a coleta de dados deverá ser organizada em forma de tabelas e questionários.

3ª etapa: Construção do programa computacional. Nesta etapa os dados que foram coletados deverão ser inseridos no programa com a intenção de desenvolver o modelo computacional.

4ª etapa: Validação do Modelo. Simulação de várias rodadas pilotos.

5ª etapa: Planejamento de Experimentos. Consiste na execução de várias rodadas, com o objetivo de coletar um número suficiente de dados para uma posterior análise estatística de saída.

6ª etapa: Conclusão do Modelo. Execução de rodadas produtivas, onde é criada a análise de cenários futuros para o processo.

Todo esse processo pode ser visualizado na Figura 06, que está demonstrada em forma de fluxograma.

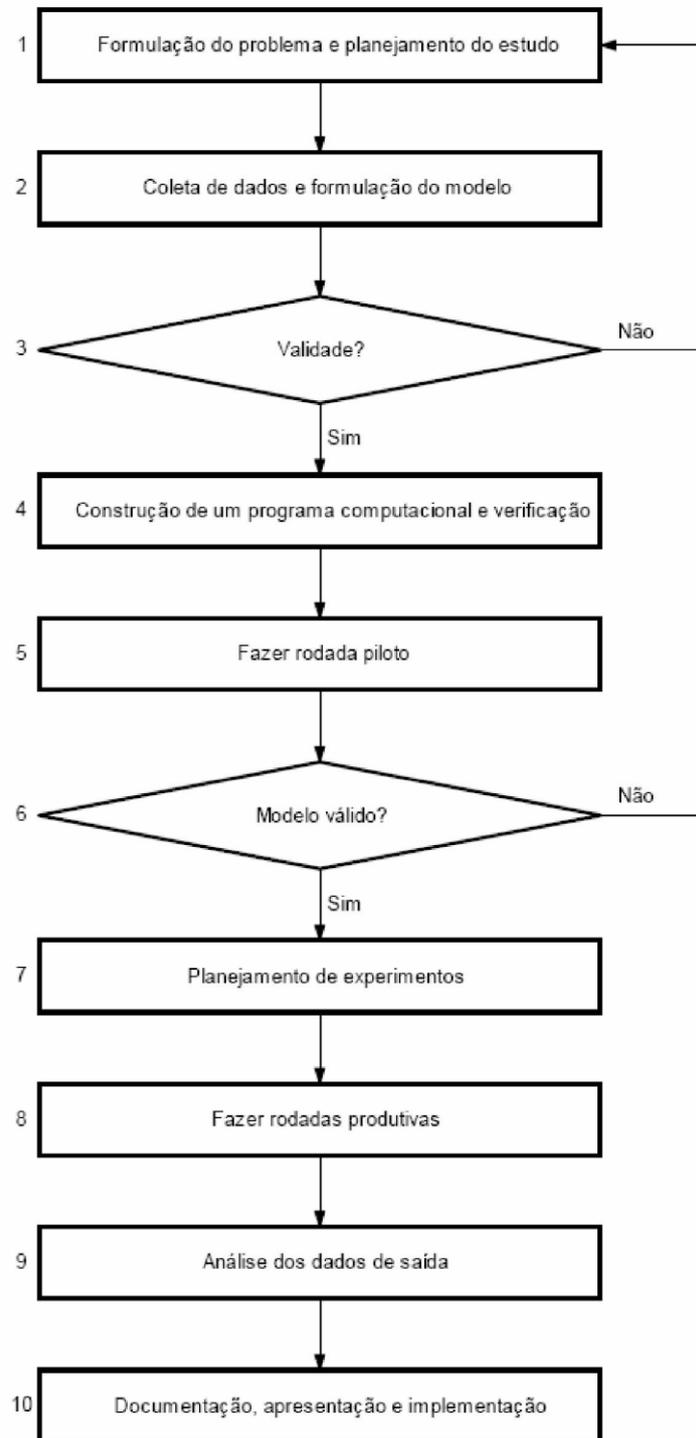


Figura 06: Etapas para desenvolvimento do modelo.

Fonte: Law e Kelton / 1991

2.4.5 Vantagens

Existem inúmeras razões para qual a modelagem e simulação deve ser utilizada nas empresas, sendo que na maioria dos casos estudados, foram obtidos resultados satisfatórios

nos processos. Abaixo serão listadas algumas vantagens da utilização da modelagem e simulação nas atividades:

- Reusabilidade dos modelos: as simulações podem ser recriadas várias vezes, sem as necessidades de interferências nos processos reais;
- Uso de dados: é possível utilizar a simulação mesmo que os dados de entrada ainda estejam somente em rascunhos, possibilitando um adiantamento dos resultados;
- Facilidades: a simulação tem maior facilidade de aplicação se comparada com os métodos analíticos, pois este último tende a obter menos simplicidades no desenvolvimento;
- Detalhamento: é possível obter nível de detalhamento próximo a realidade, fazendo com que as simulações sejam uma alternativa positiva, tendo em vista que não gera perturbação no ambiente real;
- Tempo: a variável relacionada com o tempo pode ser controlada, podendo reproduzir processos que na realidade levariam meses ou anos em intervalos de tempo curtíssimo;
- Gargalos: com a utilização das simulações é possível a identificação de gargalos nos processos, que são as maiores preocupações nas empresas;
- Novos modelos: com a simulação é possível a inclusão de cenários novos e observar quais melhorias podem ser inseridas nas atividades;

2.5 SOFTWARE ARENA

2.5.1 *Software* ARENA e a Simulação

De acordo com Prado (2003, p. 25), o *software* ARENA teve seu início na década de 90, sendo lançado pela empresa americana *Systems Modeling* com a união de dois outros programas denominados *SIMAN* e *CINEMA*.

O autor ainda evidencia que a linguagem de simulação *Siman* deu nome ao primeiro programa com funcionalidade de simular em computadores pessoais, e já o *Cinema* foi o programa pioneiro em animação de simulação para computadores pessoais e ambos os programas surgiram no início dos anos 80.

O *software* ARENA é um ambiente virtual gráfico simulado que integra todos os recursos para modelagem, animação, análise estatística e análise de resultados. Pode ainda ser transformado facilmente em um simulador para a utilização na reengenharia, estudo de transportes na logística, manufaturas, entre outros.

A simulação é feita construindo-se um modelo lógico matemático, sem a necessidade de digitar comandos na lógica e que tem a representatividade dinâmica do sistema em estudo, normalmente incorporando valores para tempos, distâncias, recursos disponíveis.

O modelo diferencia-se, pois não utiliza valores médios em sua composição, e sim distribuições na forma estatística que são geradas a partir dos dados coletados e inseridos no sistema. Com a soma dos dados e o modelo lógico matemático é possível ter a representatividade do sistema no computador.

Segundo Prado (2003), assim como a maioria dos *softwares* de simulação utilizados na atualidade, o Arena visualiza o processo a ser modelado, constituindo um conjunto de estações de trabalho, que tem a capacidade de prestar serviços a clientes, sendo esses chamados de entidades ou transações que se movimentam através do sistema simulado. O deslocamento é realizado através da própria entidade ou podem ser realizados por transportadores, sendo estas empilhadeiras, caminhões, entre outros. Dessa maneira, para ser montado o processo a ser simulado, deve-se inicialmente construir um desenho para visualização do sistema, constituindo de estações de trabalho e opções de fluxo.

O autor ainda afirma que para que o sistema seja simulado no *software* em questão, o pesquisador deve descrever as atividades: as estações de trabalho, o fluxograma do processo, os tempos de duração, distâncias dos postos, velocidade dos processos, entre outros fatores que atuam diretamente com a atividade analisada. Então a técnica utilizada pelo *software* Arena para a montagem de qualquer modelo é a programação visual computadorizada, em que o fluxograma é criado, que correspondem à ocorrência de eventos às entidades, as quais possuem atributos, ou seja, informações, na qual fluem pelo processo que está sendo modelado, ou seja, cada bloco do programa tem a representatividade de um evento no sistema. Cada evento no simulador corresponde a um módulo e sua sequência forma um fluxograma ou diagrama de blocos, como mostra a Figura 07.

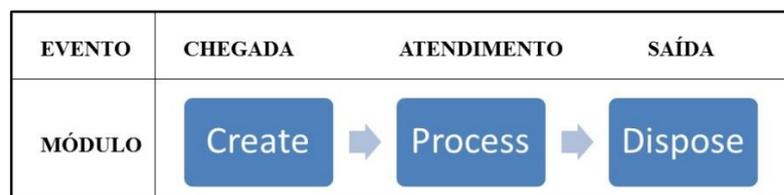


Figura 07: Eventos e Fluxograma

Fonte: Do autor/2015

2.5.2 Interface do *Software* ARENA

Com a utilização do programa Arena, faz-se necessário a apresentação do ambiente gráfico para melhor entendimento de como será feita a criação do modelo lógico matemático e como serão introduzidos os dados no mesmo.

A Figura 08 mostra a interface do programa, seguidos de alguns comandos mais utilizados:

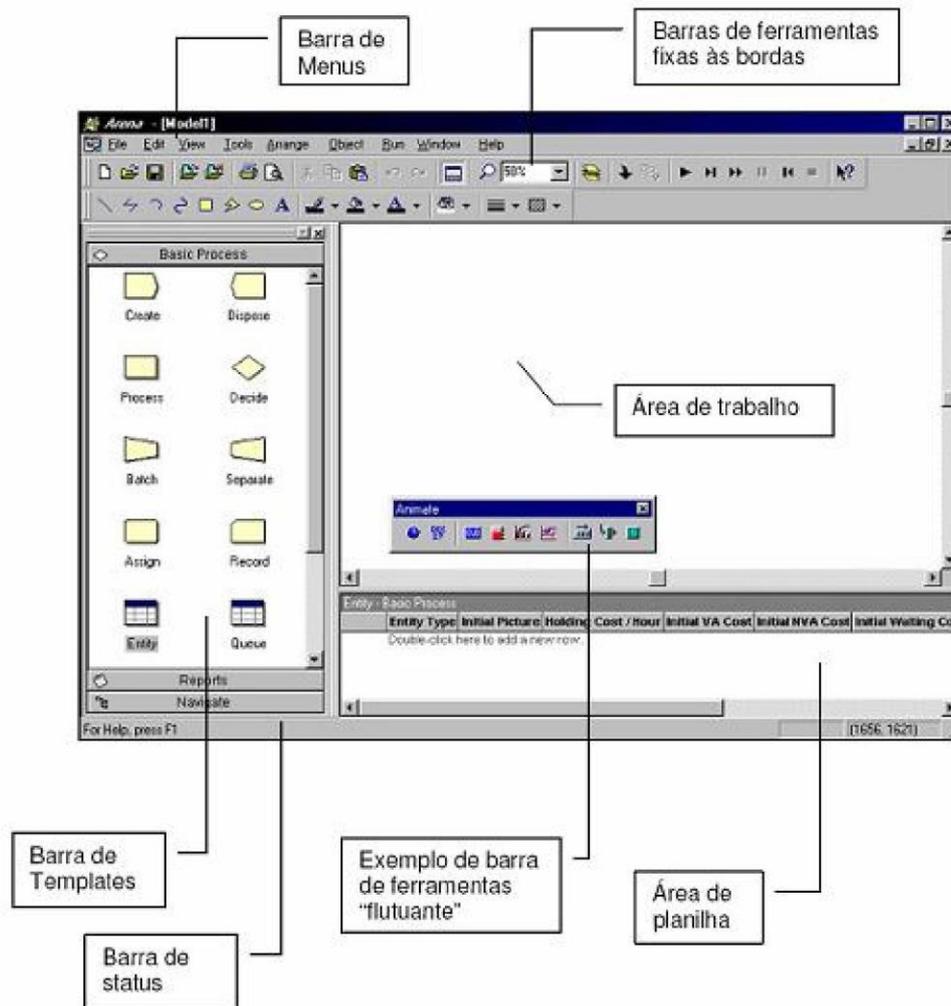


Figura 08: Interface do *Software Arena*

Fonte: Introdução ao *Software Arena* (Paragon) / 2006

Observa-se que a área de trabalho para desenvolvimento da simulação é montada seguindo um estilo de fluxograma a partir de módulos existentes.

Toda a construção da simulação no *software Arena* é feita através dos elementos que estão disponíveis na barra de *Templates*.

2.5.3 Variáveis do Sistema

Prado (1999,) relata que para poder ser feito o dimensionamento de determinado sistema, haverá a necessidade de se fazer referência às variáveis como o tempo de espera, tempo de chegada, quantidade de atendentes, entre outros. Na simulação, estas variáveis são definidas como aleatórias, sendo descritas por uma distribuição de probabilidades.

Ainda de acordo com o autor, existem algumas variáveis aleatórias que são comumente mais utilizadas no dimensionamento, sendo as mesmas demonstradas logo abaixo.

- Variáveis Referentes ao Sistema

TS: Tempo Médio de Permanência no Sistema

NS: Número Médio de Clientes no Sistema

- Variáveis Referentes ao Processo de Chegada

λ : Ritmo Médio de Chegada

IC: intervalo Médio entre Chegadas (“*Time Between Arrivals*”)

Sendo aplicada da seguinte maneira:

$$IC = 1/\lambda \quad \text{Equação (1)}$$

- Variáveis Referentes à Fila

TF: Tempo Médio de Permanência na Fila (“*Waiting Time*”)

NF: Número Médio de Clientes na Fila (“*Number Time*”)

- Variáveis Referentes ao Processo de Atendimento

TA: Tempo Médio de Permanência de Atendimento/Serviço (“*Process Time*” ou “*Delay Time*”)

c: Quantidade de Atendentes

NA: Número Médio de Clientes em Atendimento

μ : Ritmo Médio de Atendimento de cada Cliente

Sendo assim, aplica-se a equação da seguinte forma:

$$TA = 1/\mu \quad \text{Equação (2)}$$

Existem ainda Relações Básicas referentes às variáveis citadas acima, como será mostrado a seguir:

$$NS = NF + NA \quad \text{Equação (3)}$$

$$TS = TF + TA \quad \text{Equação (4)}$$

Quando o pesquisador objetivar ver a Taxa de Utilização dos Atendentes, deverá utilizar as seguintes relações:

- Para 1 (uma) fila e 1 (um) atendente

$$\rho = \lambda / \mu \quad \text{Equação (5)}$$

- Para 1 (uma) fila e vários atendentes

$$\rho = \lambda / c.\mu \quad \text{Equação (6)}$$

Na Figura 09 estão apresentadas as relações e onde ficam localizadas as variáveis referentes ao modelo de simulação.

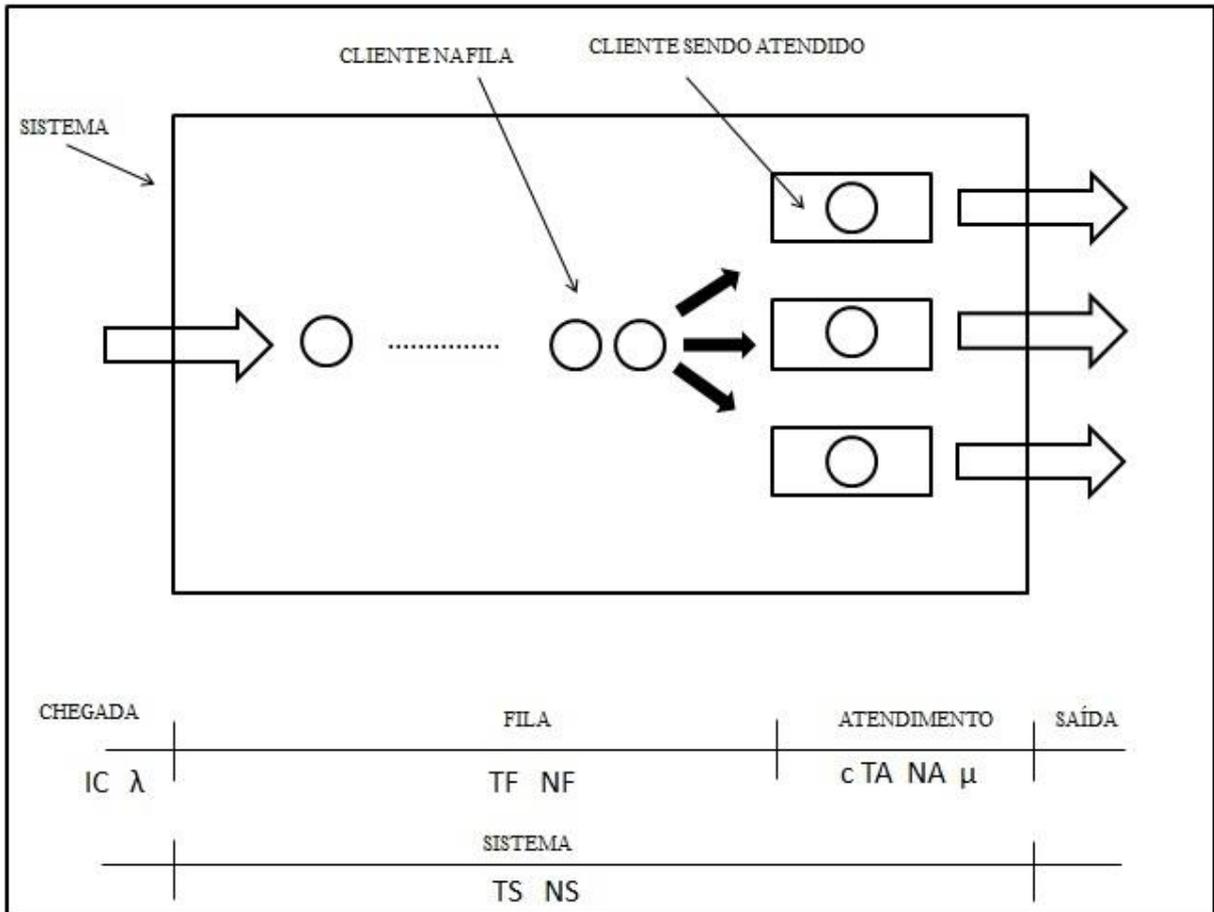


Figura 09: Localização das Variáveis
Fonte: Adaptado pelo Autor (Prado/2003) / 2015

2.5.4 Utilização na Mineração

Ramos Neto (2003) informa que a mineração pode ser incluída como sendo um sistema passível de ser simulado, pois possui elementos com operações complexas, variáveis consideradas aleatórias e tem a necessidade de avaliação estratégica das operações do sistema.

O autor ainda completa que existe grande dificuldade na difusão da simulação em minerações, e isso se deve ao fato de que não existe um simulador específico para as atividades de mineração no mercado. Também faz parte desta dificuldade a falta de informação da maioria dos profissionais que executam suas atividades na área.

Para Prado (2008, p. 38), no Modelo da Mineração, é criado um cenário onde é simulada uma mineração na qual, vários caminhões executam um ciclo referente à atividade

de carregamento e transporte de material, sendo este abastecido por equipamentos de carga, como as escavadeiras hidráulicas e o descarregamento do material no britador ou em pilhas de estocagem, como é demonstrado na Figura 10.

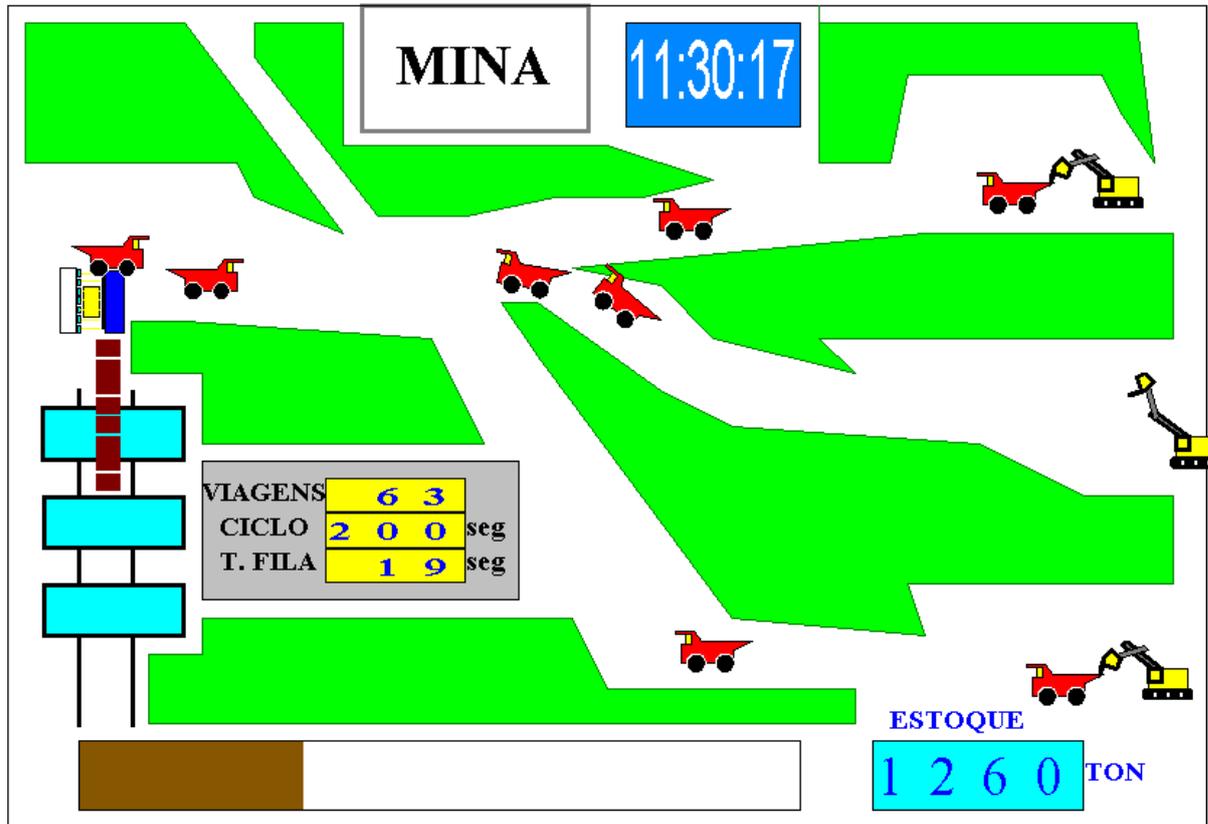


Figura 10: Modelo da Mineração
Fonte: Prado/2008

As simulações desenvolvidas para as operações de lavras em minerações têm a funcionalidade de avaliação de cenários e servem como ferramentas de apoio nas tomadas de decisão, com as seguintes características:

1. Têm a capacidade de permitir ao pesquisador tirar conclusões sobre cenários alternativos, fazendo mudanças e testes, sem perturbar o ambiente real e sem a implementação de forma incorreta ou precipitada;
2. Capacidade de estudar o dimensionamento e seleção da frota de equipamentos, como caminhões e equipamentos de carga;
3. Teste de implementação de um sistema de alocação dinâmica dos equipamentos de transporte;
4. Determinar a influência da disponibilidade dos equipamentos utilizados na operação e outros índices mecânicos, importantes na produtividade.

2.6 PESQUISA OPERACIONAL

Para Kittel (1947), a P.O. utiliza métodos científicos com o objetivo de prover departamentos executivos de elementos quantitativos, para que se tome a melhor decisão nas atividades estudadas.

Já para Ackoff (1968), é a aplicação do método científico, no qual equipes multidisciplinares resolvam problemas envolvendo o controle de sistemas organizados com a finalidade de encontrar soluções que melhor interessam ao pesquisador e /ou organização.

Ainda, pode ser definida como uma ferramenta para solução de problemas utilizando a modelagem matemática, em conjunto com métodos que visam obter a solução ótima dos problemas e melhorando assim os processos.

Esses métodos podem ser classificados de acordo com as suas necessidades, porém existem alguns métodos mais populares, dentre os quais estão:

- Programação Linear
 - I. Método Gráfico
 - II. Método *Simplex*
- Dualidade
- Análise de Sensibilidade
- Problemas de Transporte
- Designação

Recentemente, a P.O. tem sido chamada de ciência e tecnologia de decisão, pois o componente científico está relacionado a ideias e processos com a intenção de articular e modelar problemas de decisão, determinando os objetivos do tomador de decisão e as restrições sob as quais se deve trabalhar. Também está relacionado a métodos matemáticos com a finalidade de otimizar sistemas numéricos que resultam quando se usam dados do modelo. O componente tecnológico está ligado a ferramentas de *software* e *hardware* para coletar e comunicar dados, organizando esses dados e usando-os para gerar, otimizar modelos e reportar resultados.

Na atualidade, tem grande utilidade na solução de problemas de decisão, os quais requerem um estudo detalhado, para que assim se chegue a melhor alternativa.

A simulação refere-se a uma ferramenta da área de pesquisa operacional que tenha a função de gerar cenários, a partir dos quais o pesquisador pode utilizar no processo de tomada

de decisão, proceder análises e avaliar sistemas, propondo soluções para a melhoria das atividades.

2.7 CONTROLE ESTATÍSTICO

Juran (1991) estabelece que o controle estatístico (C.E.) é o conjunto de atividades através das quais atingimos a adequação ao uso, independentemente da parte da organização onde as atividades estejam sendo realizadas.

O C.E. tem a função de desenvolver os métodos e técnicas com o objetivo de controlar os processos produtivos, para que os mesmos estejam em conformidade com as especificações do trabalho.

Utiliza a estatística como forma de controlar as anomalias ocorridas durante as atividades em estudo, obtendo as causas das variabilidades e monitorando-as para melhorar o processo.

Segundo Garvin (1987), existem oito componentes ou dimensões da qualidade, sendo estes exemplificados abaixo e na Figura 11:

- Desempenho;
- Confiabilidade;
- Durabilidade;
- Assistência Técnica;
- Estética;
- Características;
- Qualidade Percebida;
- Conformidade com as Especificações.

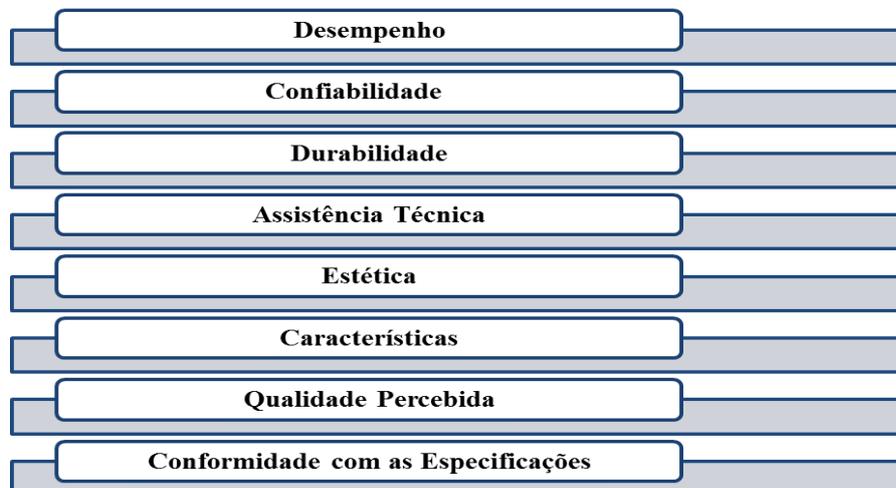


Figura 11: Dimensões da Qualidade

Fonte: Do autor / 2015

Em síntese, o Controle Estatístico do Processo, tem o objetivo de monitorar uma atividade, onde se tenha a atuação de variáveis correlacionadas, controlando as ações das mesmas. Assim, deverá estabelecer limites de controles por meios de dados simulados em programas computacionais.

2.8 CRONOMETRAGEM

A cronometragem continua sendo a técnica mais empregada em todo o contexto industrial. Esta técnica emite dados bastante confiáveis e de ampla aplicação nas pesquisas industriais.

A inauguração da cronometragem analítica foi feita por Taylor, decompondo o trabalho em atividades composta de elementos simplificados, que ainda hoje são chamamos de elementos de trabalho.

A decomposição do trabalho pode ser efetuada da seguinte maneira:

Operação: é uma ação através da qual existe a modificação da manufatura para um produto ou matéria-prima a ser utilizada na indústria e no comércio.

Elemento: é um conjunto de movimentos com início e fim definidos dentro de uma operação. Na descrição dos elementos é imprescindível a separação do tempo homem do tempo máquina.

Movimento: é um componente básico de um elemento e, portanto, não pode ser dividido.

Ciclo: é a realização completa pelo operário de todos os elementos de uma atividade, com tempo inicial e final bem definido.

De acordo com Docol (1989), a metodologia da cronometragem deverá proceder às etapas definidas abaixo:

- Contato com o operador e observações iniciais;
- Divisão da operação em elementos;
- Cronometragem dos elementos;
- Avaliação do ritmo;
- Cálculo do tempo observado;
- Cálculo do tempo normal;
- Avaliação da fadiga e de outras “tolerâncias”;
- Cálculo do tempo padrão;
- Aprovação e registro.

O mesmo autor ainda afirma que o objetivo desta técnica é a determinação do tempo padrão de uma operação e algumas condições devem ser observadas para a determinação da mesma, sendo elas:

- Método de trabalho da operação deve estar padronizado, isto é, racionalizado e oficializado;
- Operador deve ser habilitado e treinado neste método de trabalho;
- As condições de máquina, materiais, dispositivos e ferramentas devem ser normais, isto é, não devem apresentar anomalias na ocasião da cronometragem;
- As condições dos locais de trabalho (luz, ruídos, temperaturas, calor, disposição dos materiais, etc.) devem ser habituais;
- Profissional que utiliza esta técnica deve ser um cronoanalista habilitado e treinado;

Materiais Utilizados:

- Cronômetro e prancheta;
- Folha de cronometragem;
- Lapiseira, borracha e trena;
- Equipamento de Proteção Individual;
- Tabela de porcentagem fisiológica e Tabela para determinação do número de leitura.

As técnicas de cronometragem podem ser efetuadas escolhendo-se entre dois métodos, sendo eles: o da volta a zero, que após o final de cada atividade é zerado e anotado o tempo em seguida; e o método contínuo, onde em nenhum momento da medição o cronômetro será zerado, anotando-se o valor acumulado da atividade.

A vantagem do método contínuo é que ele fornece medidas mais confiáveis, pois o tempo continua a ser medido, eliminando risco ao zerar o processo. Esse método é o mais utilizado pelas organizações nos estudos de tempos.

Após a escolha do método, faz-se necessário a identificação do Tempo do Ciclo para a produção do produto ou serviço.

A Cronometragem é bastante importante nos eventos a serem simulados, pois é a partir dela que os dados serão colhidos e inseridos no sistema. Em resumo, se a cronometragem não for realizada com sucesso, o trabalho irá ter valores errôneos e fora da realidade do processo.

3. METODOLOGIA

Nesta etapa são apresentados a forma e o tipo de pesquisa utilizado, tendo como o principal resultado mostrar como foi efetuada a coleta de dados, escolha do tipo de pesquisa e o campo de atuação para o desenvolvimento do mesmo.

3.1 MEIOS DE PESQUISA

3.1.1 Quanto a Natureza

Existem dois tipos que são utilizados largamente no cenário acadêmico, sendo elas:

- Básica: gerar conhecimentos novos;
- Aplicada: gerar conhecimentos e colocá-los em prática.

Nesta Monografia, foi utilizada a natureza aplicada, bastante utilizada na engenharia de produção.

Para Barros (2000), as pesquisas aplicadas são voltadas para a resolução de problemas ou necessidades concretas e urgentes.

Neste estudo, foi necessário o envolvimento de interesses organizacionais a fim de obter resultados satisfatórios. Para a aplicação desta metodologia, foi necessário o conhecimento da atividade estudada e do *software* Arena, com a finalidade de aplicar e solucionar problemas encontrados na empresa.

Outra observação a ser feita na pesquisa aplicada, é que o pesquisador é movido pela grande necessidade da contribuição dos fins práticos deste tipo, transformando ações em resultados.

Portanto, neste estudo, foram gerados conhecimentos e colocados em prática para melhorar a qualidade da atividade desenvolvida, utilizando-se de ferramentas de simulação e formulários preenchidos durante a pesquisa.

3.1.2 Quanto a Abordagem

Poderá ser classificada em dois tipos:

- Quantitativa: dados utilizados indutivamente;
- Qualitativa: utiliza estudos estatísticos;

A pesquisa quantitativa, de acordo com Ghauri et al. (1995), utiliza a dedução e a indução em suas pesquisas, exigindo a coleta sistemática dos dados, sempre em conjunto com a criatividade, percepção da relevância dos dados coletados, atualizações sistêmicas e acréscimos de novas ideias e teorias.

Esclarece Fonseca (2002), que:

Diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados. Como as amostras geralmente são grandes e consideradas representativas da população, os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa. A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente.

O autor ainda enfatiza que este tipo de pesquisa tem grande recorrência à linguagem e interpretação matemática, assim descrevendo as causas de determinado fenômeno, relacionando-os com suas variáveis.

Já na pesquisa qualitativa o pesquisador, objetiva diminuir as distâncias entre a teoria e os dados obtidos no estudo, usando a lógica para analisar os fenômenos estudados. As experiências do pesquisador são bastante essenciais para que a análise seja feita de forma correta e eficaz.

Segundo Bryman (1989), a pesquisa qualitativa apresenta as seguintes características:

- Observação dos fatos sob a ótica de alguém interno à organização;
- Busca uma profunda compreensão do contexto da situação;
- Ênfase dos processos dos acontecimentos, ou seja, a sequência dos fatos no decorrer do tempo;
- Enfoque da pesquisa é mais desestruturado, não havendo hipóteses fortes no início da pesquisa;
- Pesquisa com o emprego de mais de uma fonte de dados.

Nesta monografia foram utilizadas as duas abordagens, pois existem estudos estatísticos, como a coleta de dados e suas simulações representando a abordagem quantitativa e também serão analisados os dados qualitativamente obtidos, com a finalidade de mensurar os seus valores e expressá-los através de estudos e análises.

3.1.3 Quanto aos Propósitos

Segundo Ganga (2012), a caracterização da pesquisa quanto aos propósitos é importante para decidir quais os métodos e instrumentos de coletas de dados a utilizar, assim sendo selecionados alguns que são comumente usados em pesquisas científicas e acadêmicas.

- Exploratória;
- Descritiva;

- Preditiva;
- Explicativa;
- Ação;
- Avaliação;

Para o presente trabalho, serão utilizados os seguintes propósitos: Descritivo, Explicativo, Preditivo e Avaliação.

Segundo Ganga (2012), pesquisas descritivas estão muito relacionadas com as pesquisas do tipo quantitativas, pois buscam descrever ou “quantificar” o estado ou as características do fenômeno estudado, estabelecendo relações entre suas variáveis.

Geralmente são as mais solicitadas por organizações como instituições educacionais, empresas comerciais, partidos políticos etc., pois vão além da simples identificação da existência de relações entre variáveis e pretendem determinar a natureza dessa relação, sendo exemplos deste tipo de pesquisa, os Estudos de Caso, as Análises Documentais, entre outros.

Para Ganga (2012), as pesquisas explicativas são um tipo de pesquisa considerada como clássica, utilizada nas ciências naturais, com sua natureza positivista, que necessitam de experimentos para a confirmação do efeito de mais de uma variável sobre um determinado fenômeno. A sua característica fundamental é o controle sobre as variáveis que influenciam determinada coisa ou fenômeno.

Também são chamadas de explanatórias, pois objetivam a estudar as relações entre causas e efeitos de dois ou mais fenômenos, fatos ou variáveis.

As pesquisas explicativas correm lado a lado com as pesquisas quantitativas, pois têm a função de estudar causa e efeito de dados ou fenômenos.

Para Gil (2007), este tipo de pesquisa preocupa-se em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, ou seja, este tipo de pesquisa explica o porquê das coisas através dos resultados oferecidos. A pesquisa explicativa pode ser a continuação de outra descritiva, posto que a identificação de fatores que determinam um fenômeno exige que este esteja suficientemente descrito e detalhado.

A pesquisa preditiva procura identificar relações que permitam especular sobre um fenômeno partindo do conhecimento de um ou mais autores.

Ganga (2012), afirma que as pesquisas preditivas utilizam técnicas quantitativas para análise de dados, principalmente as estatísticas, com a finalidade de validar e confirmar as relações entre as variáveis.

O autor ainda salienta que as pesquisas que se enquadram como Avaliação, tem a sua utilização para a análise de eficiência ou eficácia de uma prática ou programa específico, em termos de valores adotados em determinada localidade. Tem distinção dos outros métodos, pois seu propósito é o foco na decisão. Este tipo de pesquisa é considerado qualitativa, mesmo que se valham de dados quantitativos com a caracterização da eficiência ou eficácia de determinado programa dentro das organizações. Os instrumentos utilizados para o levantamento deste tipo de pesquisa são as observações, entrevistas e a análise documental, questionários, entre outros.

3.1.4 Quanto aos Métodos da Pesquisa ou Procedimentos Técnicos

De acordo com Ganga (2012), existem inúmeras classificações sobre os procedimentos técnicos utilizados nas pesquisas, sendo os mais abordados os seguintes:

- Pesquisa bibliográfica;
- Desenvolvimento teórico conceitual;
- *Survey*;
- Modelagem e simulação;
- Pesquisas experimentais;
- Estudo de caso;
- Pesquisa-ação;

Neste trabalho, serão utilizados os seguintes procedimentos técnicos: modelagem e simulação, pesquisas experimentais e estudo de caso.

A abordagem de pesquisa em simulação segundo Ganga (2012), diz que esse método de estudo utiliza uma ampla variedade de modelos do mundo real através de avaliação numérica e uso de *softwares* que são desenvolvidos para simular as características da operação ou do sistema estudado.

De acordo com Chung (2004), a abordagem de pesquisa referente à modelagem e simulação tem a capacidade de criar um processo e experimentá-lo através de um modelo matemático de forma computadorizada.

Já para Pereira (2001), este tipo de abordagem tem a finalidade de representar um sistema real através de um modelo utilizando computadores, adquirindo a vantagem de se poder visualizar o sistema, implantando mudanças, reduzindo custos e tempos.

Este tipo de abordagem compreende as pesquisas estatísticas aplicadas, otimização, modelagem em pesquisa operacional e simulação. Tem a capacidade de resolução de

problemas industriais, centros de pesquisa e organizações de forma computacional, auxiliando nas informações e seus tratamentos. O principal objetivo desta técnica é a representação do comportamento dos sistemas através de modelos simulados. Sistema pode ser interpretado como uma coleção de itens entre os quais possam encontrar ou definir alguma relação de funcionalidade.

A Pesquisa Experimental tem o objetivo de determinar um objeto de estudo, selecionando-se as variáveis que seriam capazes de intervir diretamente, definindo-se as formas de controle e observação dos efeitos que a variável tende a gerar no objeto de estudo.

Para Ganga (2012), os métodos experimentais tem o objetivo de fixar relações causais entre as variáveis de pesquisa da atividade descrita.

Ainda para o autor, o estudo de caso tem como propósito visar a melhor compreensão de um fenômeno em seu contexto real, sendo considerado como uma abordagem de pesquisa qualitativa. Para tanto, o papel do pesquisador num estudo de caso visa à obtenção de informações do fenômeno segundo a visão dos indivíduos, coletando evidências que possibilitem a interpretação do ambiente em que ocorre o problema.

Yin (2001) ressalta que o estudo de caso tem como definição uma investigação empírica que analisa um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real. Esta técnica é mais apropriada para situações onde o pesquisador enfrentará uma situação tecnicamente única, podendo haver mais de uma variável de interesse do que pontos de dados.

Segundo Gil (2007), esta modalidade de pesquisa é amplamente usada nas ciências biomédicas e sociais.

Em poucas palavras, o Estudo de Caso busca descrever um processo com características única, onde o pesquisador irá evidenciar seu processo e analisá-lo.

3.2 CAMPOS DE ATUAÇÃO

O campo de atuação deste trabalho será em uma empresa do setor mineral, localizada no Distrito de Pilar, município de Jaguarari – BA, exploradora de minério de Cobre. A atividade, objeto de pesquisa, trata do processo de carregamento e transporte de minério de cobre em uma mineração a céu aberto.

A empresa serviu de base para fornecer os dados necessários para a realização do trabalho e auxílio no tratamento dos dados.

3.3 PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

A coleta de dados se fez necessária para análises posteriores mediante uso de dados reais e técnicas adequadas para formulação da pesquisa em questão. Esta coleta foi feita em campo, com a utilização de instrumento de medição (cronômetro), planilhas (*software EXCEL*) e informações a respeito dos equipamentos e dados da atividade estudada.

Para realização do trabalho, foram necessárias a pesquisa de modelos de coleta em diversos trabalhos científicos sobre o tema, as visitas em campo para registro dos tempos de ciclos das tarefas mediante a cronoanálise e o banco de dados da empresa com informações de produção e especificações dos equipamentos auxiliados com seus respectivos manuais de fabricação. Também se faz necessário conhecer as atividades prestadas pela empresa para poder desenvolver o projeto de maneira correta e organizada.

Segundo Cavalcanti (2004), uma importante definição do estudo é a população que será estudada. Compreende-se a população como um grande grupo de amostras que entre si, possuem características semelhantes. Porém, a amostra que deverá representar a população quando não bem definidas em relação ao seu tamanho, podem diferir do resultado da população. Neste caso a população é a atividade como um todo (todos os turnos, dias, meses, etc.) e a amostra foi correspondente a 1 (um) turno, que tem a finalidade de reproduzir a realidade sem tender ao erro de resultados.

Roesch (2009) observa que esse tipo de coleta é largamente utilizado quando se pesquisam organizações e destaca os seguintes exemplos de materiais:

“Relatórios anuais da organização, materiais utilizados em relações públicas, declarações sobre sua missão, políticas de *marketing* e de recursos humanos, documentos legais, etc.”.

Para a análise dos dados, houve uma sequência cronológica das atividades. Na primeira etapa foi delimitado o objeto em estudo, ou seja, qual necessidade do estudo em questão. A fase seguinte consistiu na revisão bibliográfica, visitas à empresa e trocas de informações com os responsáveis do setor.

A coleta de dados foi realizada no dia 08/08/2015 no turno de 18:00h às 00:00h, utilizando-se de métodos científicos para a cronometragem dos tempos em planilhas do *software EXCEL*. Pesquisas de campo para a coleta de dados e informações e reuniões diversas com pessoas capacitadas de nível operacional, tático e estratégico também se fizeram necessárias, acumulando informações para a aplicação do trabalho.

A Figura 12, mostra o fluxograma de como será feita a coleta e análise dos dados deste trabalho:

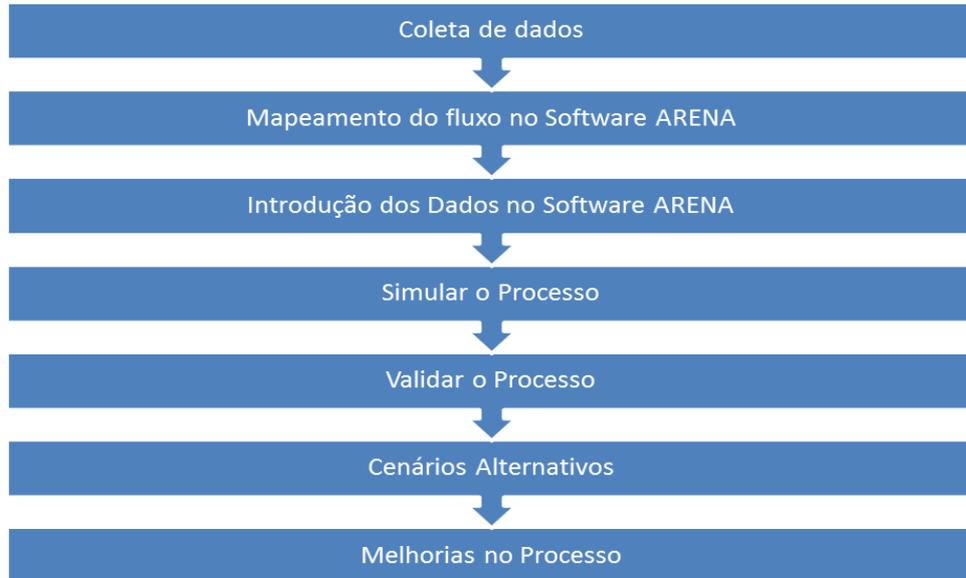


Figura 12: Procedimento de Coleta e Análise dos dados

Fonte: Do autor/ 2015

No capítulo seguinte, Estudo de Caso, está apresentado de forma detalhada os dados obtidos, organograma da atividade de carregamento e transporte de minério bem como o cálculo para o número de amostras.

4. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, serão apresentados os dados obtidos no trabalho aplicados à simulação computacional, os gargalos da produção e novos cenários com a finalidade de melhorar a produtividade e reduzir desperdícios.

Será mostrado a base metodológica descrita, bem como o desenvolvimento das etapas necessárias para o estudo da modelagem e simulação do processo de carregamento e transporte de material. Etapas desde a modelagem conceitual, a passagem pela identificação de todas as variáveis necessárias para alimentar o sistema de entrada, a coleta e análise de dados encontrando a equação que melhor defina a distribuição de probabilidade para cada conjunto de dados de cada variável e a validação do modelo através da comparação dos resultados obtidos na simulação com os dados da amostra do sistema real.

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTUDO

O propósito deste estudo, é analisar o sistema produtivo de uma mineração de cobre localizada no norte da Bahia. Esse setor necessita de maiores atenções nos investimentos no estudo da modelagem e simulação, pois grande parte dos processos estão sem um correto planejamento. Essa organização foi escolhida porque destaca-se como um referencial de qualidade dos seus produtos na região e também fornecem um nível de informações e organização satisfatório para se desenvolver do mesmo.

A atividade de Carregamento e Transporte de Material para o estudo está dividida em 4 etapas: tempos de carregamento (carga), deslocamento carregado (ida), basculamento (descarga) e deslocamento descarregado (volta). Também são inseridos tempos de perdas no processo, como tempo de abastecimento, DDS (Diálogo Diário de Segurança) e por último a taxa de utilização geral dos equipamentos da mineração.

4.2 ABORDAGEM SISTEMÁTICA

Para que a atividade possa ser analisada, é necessário um conhecimento dos parâmetros referentes ao sistema em estudo. É neste estágio que se busca a identificação de todas as variáveis que compõem o sistema, sendo estas divididas em variáveis de entrada, chamadas de *inputs* e variáveis de saída, os *outputs*. Os *inputs* têm como principal base, a coleta de dados. Depois de serem feitas a análise e o tratamento dos dados registrados do sistema real através de cronometragens, têm-se as definições dos *inputs* que serão introduzidas no software ARENA.

Depois de simulado o modelo, encontram-se os *outputs*, sendo estes necessários para que possa ser feita a validação dos dados e a introdução de novos cenários para comparação.

Em continuação, serão exemplificados os equipamentos utilizados, as suas taxas de disponibilidades, utilização e rendimento, bem como, as variáveis pertinentes ao estudo.

A Empresa conta com equipamentos próprios e terceirizados, sendo que os equipamentos alugados, são pagos por produtividade, logo, não existe um valor fixo de equipamentos dos mesmos, tendo em vista que a empresa terceirizada conta com 6 Escavadeiras Hidráulicas e a Empresa Própria conta somente com 4 operadores em média.

Conforme já dito nos capítulos anteriores, para que o modelo seja bem elaborado, o mesmo deve somente conter as informações necessárias à atividade estudada. Todas as variáveis do estudo são definidas no Quadro 01.

Quadro 01: Variáveis de Entradas e Saídas

<i>Inputs (Entradas)</i>	Início e Término da atividade
	Tempo para ir para o pátio da mina
	Tempo para ir para estação Carregamento
	Tempo Carregamento
	Tempo para ir para estação Descarregamento
	Tempo Descarregamento
	Número de equipamentos
	Paradas para Manutenção
	Paradas para Abastecimento
	Paradas para Movimentação
<i>Outputs (Saídas)</i>	Quantidade de Toneladas Transportada
	Quantidade de Viagens no Turno
	Taxa de Utilização dos Equipamentos

Fonte: Do autor / 2016

4.3 FORMULAÇÃO DO MODELO SIMULADO

Após serem feitas observações do sistema em questão, deu-se início ao mapeamento do fluxo do processo e conseqüentemente a construção do modelo conceitual que é representado por um fluxograma. A finalidade desse modelo é facilitar a compreensão das etapas que envolve o estudo, sendo feitas em sequência as coletas de dados, fazendo a tradução em relações matemáticas e lógicas para poder ser formulado computacionalmente.

Será exemplificado a seguir com mais detalhes, as etapas do desenvolvimento deste estudo, objetivando construir o modelo do sistema e analisar por meios computacionais, buscando melhorar a atividade.

4.3.1 Coleta de Dados

A coleta de dados teve início durante a fase em que era feito o mapeamento do processo, feito através de medições com cronômetro e planilhas, sendo também utilizado o banco de dados da empresa. Houve uma comparação preliminar com os tempos coletados e os dados da empresa, visando obter uma visão preliminar do sistema. Também usou-se entrevistas com os operadores, a respeito dos dados dos equipamentos, bem como a frequência de manutenções e abastecimentos.

Esses dados obtidos pelo operador de máquinas foram anexados aos dados das coletas e ao final do dia foram inseridos no sistema. Todos os dados foram convertidos para o formato digital, facilitando a busca e segurança.

Devido à variabilidade dos dados, necessitou-se a utilização de equações distintas para melhor descrever as funções de cada atividade. Com o mesmo tempo de produção (turno 6 horas), eram transportados valores diferentes, conforme mostram os Quadros A e B no Apêndice A. Isso se dá por causa das variáveis: Tipo de matéria prima, negligência dos operadores, falta de manutenção nos equipamentos, falta de planejamento da produção e picos de produtividade.

4.3.2 Conceito do Modelo

A realização do desenvolvimento do modelo foi feita através de observações das atividades do processo, sendo este padronizado em algumas etapas, (I) carregamento do material, (II) deslocamento carregado, (III) descarregamento do material e (IV) deslocamento descarregado, como mostra o Fluxograma da Figura 13:

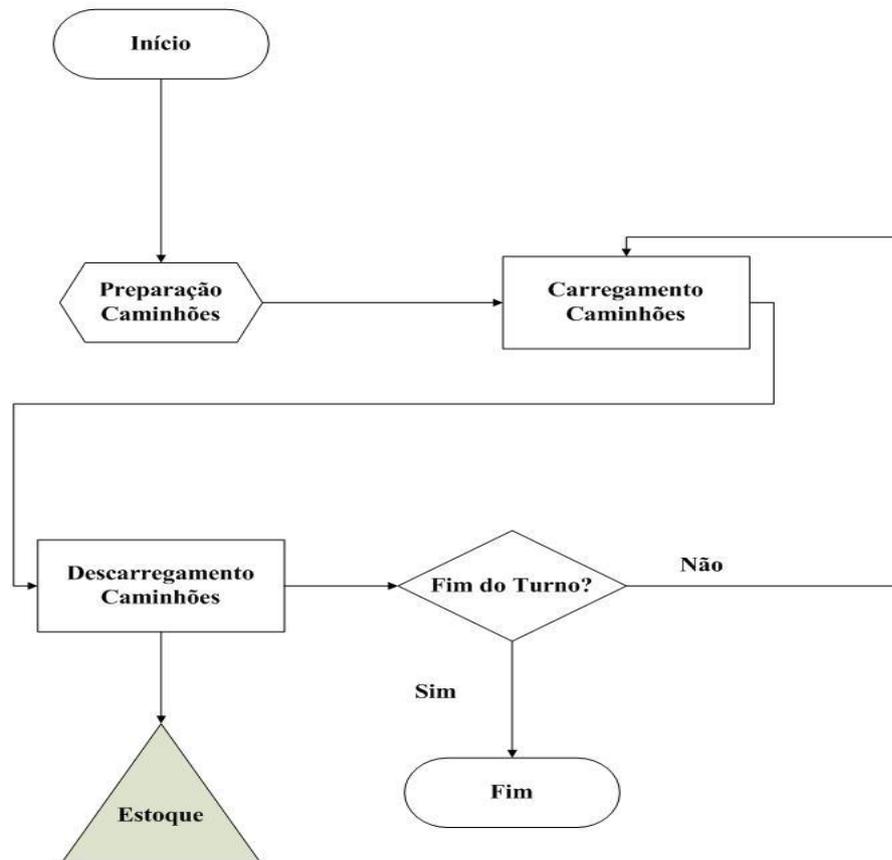


Figura 13: Fluxograma Atividade de Carregamento e Transporte da Mina
Fonte: Do Autor

Como já dito no capítulo anterior, essas atividades são as principais e mais comumente estudadas em minerações a Céu Aberto na Atividade de Carregamento e Transporte, porém abaixo, será descrito um breve resumo destas atividades.

(I) Carregamento do material – Nesta etapa do processo, são utilizadas Escavadeiras Hidráulicas que têm a função de carregar os caminhões com o material a ser transportado, como mostra a Figura 14.



Figura 14: Escavadeira Hidráulica (EH)

Fonte: Do Autor

(II) Deslocamento carregado – nesta etapa, os caminhões são deslocados da estação de carregamento para uma pilha de estocagem de material.

(III) Descarregamento do material – Nesta fase, os caminhões descarregam o material em uma pilha de estocagem.

(IV) Deslocamento descarregado – segue a mesma lógica do deslocamento carregado, porém faz o caminho inverso, o caminhão sai da pilha de estocagem para a estação de carregamento.

Seguem ilustrados nas Figuras 15 e 16, os modelos de Caminhões utilizados no transporte do material.



Figura 15: Caminhão Articulado de 30 toneladas (CA)
Fonte: Do Autor



Figura 16: Caminhão Basculante de 35 toneladas (CB)
Fonte: Do Autor

4.3.3 Análise dos Dados Coletados

Nesta parte são apresentados os dados de entrada de cada atividade, como os tempos e as variáveis do sistema em questão.

Todos os dados foram extraídos após coletas realizadas em campo, onde houve a necessidade de buscar a distribuição probabilística mais próxima da realidade, neste caso, foi necessário utilizar o *Input Analyzer* do Software ARENA.

Como há variação no tempo da atividade de carregamento e transporte, foi necessário calcular o tempo médio de cada atividade, para verificar os desvios padrão e os valores máximos e mínimos, como mostra os Quadros 02 e 03. Porém, a melhor distribuição, é obtida através do *Input Analyzer* como mostra os Quadros 04 e 05.

Quadro 02: Variáveis de Entrada dos Caminhões Basculantes (CB) (em segundos)

ATIVIDADE	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÍNIMO VALOR	MÁXIMO VALOR
Tempo de Carga (EH)	199	34	93	256
Deslocamento Carregado	257	17	231	295
Basculamento (Descarga)	62	6	48	80
Deslocamento Descarregado	212	21	184	267

Fonte: Do Autor / 2016

Quadro 03: Variáveis de Entrada dos Caminhões Articulados (CA) (em segundos)

ATIVIDADE	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÍNIMO VALOR	MÁXIMO VALOR
Tempo de Carga (EH)	159	24	113	193
Deslocamento Carregado	169	19	139	208
Basculamento (Descarga)	34	3	29	40
Deslocamento Descarregado	147	14	127	176

Fonte: Do Autor / 2016

Quadro 04: Distribuição da Probabilidade dos Caminhões Basculantes (CB) (em segundos)

ATIVIDADE	DISTRIBUIÇÃO	EXPRESSÃO	ERRO	HISTOGRAMA
Tempo de Carga (EH)	NORMAL	NORM (198, 33.4)	0.01707	
Deslocamento Carregado	POISSON	POIS (258)	0.03409	
Basculamento (Descarga)	NORMAL	NORM (61.5, 6.08)	0.04743	
Deslocamento Descarregado	WEIBULL	184 + WEIB (30.5, 1.39)	0.02849	

Fonte: Do Autor / 2016

Quadro 05: Distribuição da Probabilidade dos Caminhões Articulados (CA) (em segundos)

ATIVIDADE	DISTRIBUIÇÃO	EXPRESSÃO	ERRO	HISTOGRAMA
Tempo de Carga (EH)	BETA	113 + 81*BETA (0.972, 0.783)	0.033463	
Deslocamento Carregado	BETA	139 + 70*BETA (0.973, 1.29)	0.03838	
Basculamento (Descarga)	ERLANG	28.5 + ERLA (1.69, 3)	0.024789	
Deslocamento Descarregado	TRIANGULAR	TRIA (127, 132, 177)	0.036241	

Fonte: Do Autor / 2016

Todos esses dados são necessários para a comparação dos valores reais com os valores simulados, visando validar o modelo proposto encontrando semelhanças com os resultados gerados. Essas distribuições são as que mais se encaixam com a realidade, pois o recurso do *Input Analyzer* busca encontrar a melhor equação disponível para cada variável.

4.3.4 Atividade de Carregamento e Transporte

Ao analisar a atividade em questão, observou-se que a mesma possui características estocásticas. O processo em determinados momentos sofria variações nos tempos de realização da mesma. Um dos motivos evidenciados era falha de alguns equipamentos, qualidade do terreno, mudanças de localização, entre outras.

As escavadeiras e os caminhões trabalham de forma interligadas, pois se a escavadeira carrega o caminhão de forma rápida, o mesmo irá dar mais viagens durante o turno e consequentemente produzir mais.

Verificou-se que o limitador da produção, adotando-se que o material esteja disponível, é a quantidade de caminhões, pois a olho nu dá para perceber a ociosidade das escavadeiras. Observou-se ainda durante a coleta de dados, que em determinados momentos ocorrem atividade programadas e não programadas e a utilização dos recursos, diminuindo a produtividade do turno, sendo estas evidenciadas nos Quadros 06 e 07 abaixo.

Quadro 06: Falhas durante o Processo

Falha	Quando	Duração (segundos)
DDS – Diálogo Diário de Segurança	Início do Turno	600
Deslocamento para entrada da mina	Início do Turno	30
Manobra Carregamento	Durante todo turno	25
Abastecimento	Nível Baixo de Combustível	300 - 600 / equipamento
Movimentação	Falta de Material no Local	120

Fonte: Do Autor / 2016

Quadro 07: Utilização dos Recursos

Equipamento	Quantidade (un)	Disponibilidade (%)	Utilização (%)	Rendimento (%)	Total (un)
Escavadeira Hidráulica	6	93	62	58	3,2 ~ 4
Caminhões CB *	9	N.I.	N.I.	75	~ 7
Caminhão CA	2	50	N. I.	N.I.	1

Fonte: Do Autor / 2016

*Como a empresa ganha por produtividade, não existe um número exato de caminhões.

4.3.5 Modelagem do Sistema

O modelo foi simulado no Software ARENA 14.7 e Sistema Operacional Windows 7 Ultimate. Depois da coleta de dados e com as variáveis definidas, foi possível transformar o modelo conceitual em um modelo computacional, utilizando ligações lógicas. A principal função dessa simulação é a identificação de gargalos e/ou ociosidades, buscando posteriormente realizar simulações em cenários alternativos identificando possíveis melhorias no sistema.

Basicamente em todas atividades de carregamento e transporte de material em minerações a Céu Aberto utiliza-se a mesma forma de dividir as etapas, porém foi desenvolvido um modelo particular por conter tempos de processos, arranjo físico e falhas que são específicas da empresa, conforme visto anteriormente. Este tipo de criação, facilita bastante na análise de desempenho do processo.

O modelo abaixo foi montado de acordo com os dados fornecidos anteriormente, desde as primeiras montagens, até a versão final. Os tempos das variáveis foram inseridos de acordo com as necessidades de modelagem.

As Figuras 17 e 18, exibem o modelo computacional desenvolvido para a Atividade de Carregamento e Transporte de Material.

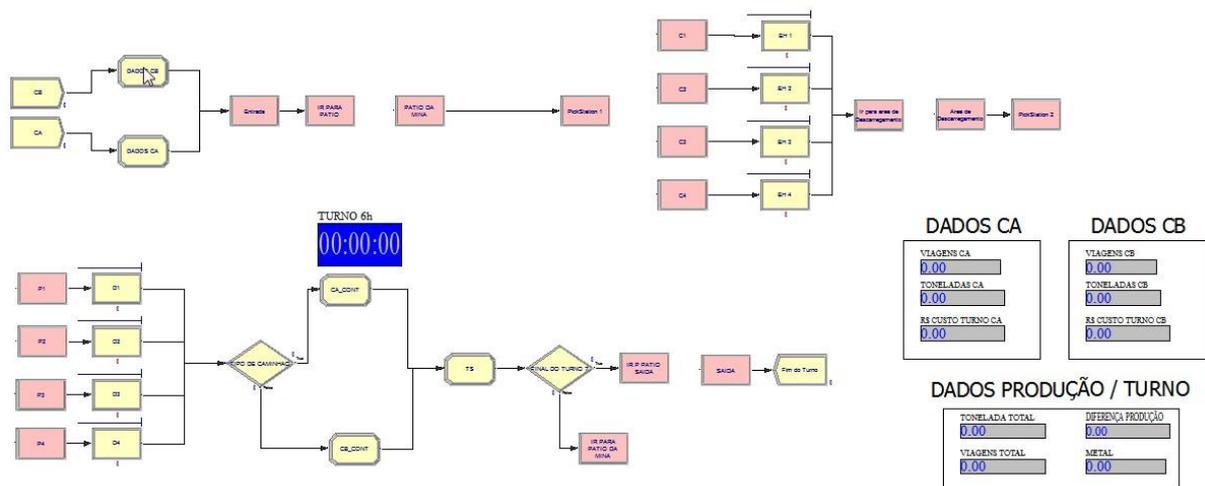


Figura 17: Modelo Computacional
Fonte: Do Autor

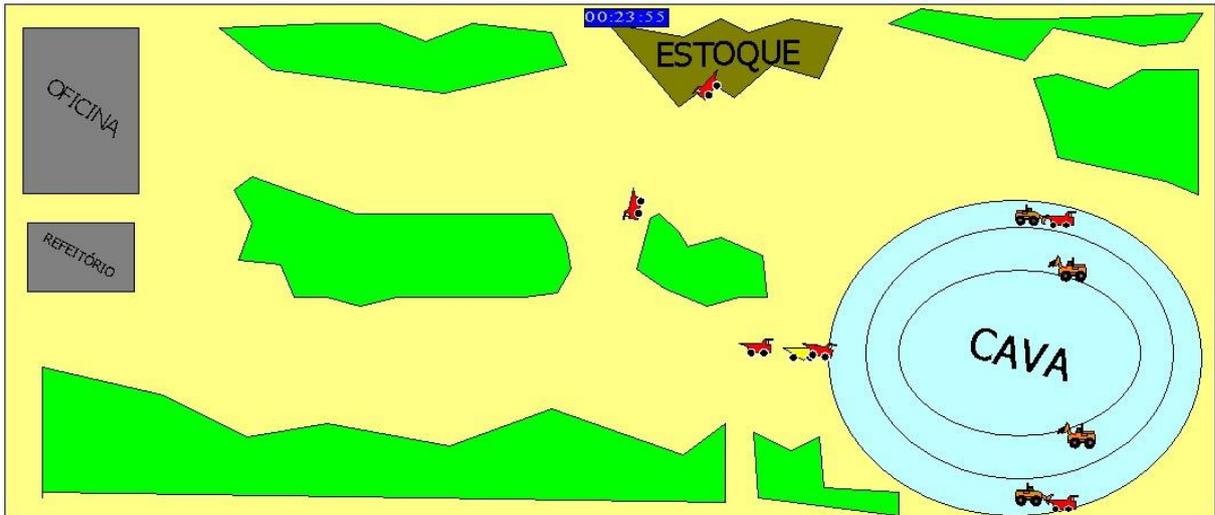


Figura 18: Modelo Animado
Fonte: Do Autor

No modelo acima, algumas etapas encontram-se interligadas através de estações e roteadores. Sendo assim, então temos que, os roteadores ficam localizados nas saídas dos processos e as estações são definidas nas entradas. A principal característica destes mecanismos é evitar a poluição visual, eliminando ligações desnecessárias entre blocos, como mostrado no Quadro 08 abaixo.

Quadro 08: Ligações das Rotas e Destinos do modelo simulado

ROTA	DESTINO
Ir para Patio	Patio da Mina
PickStation 1	Estação Carregamento (C1, C2, C3 ou C4)
Ir para área de Descarregamento	Area de Descarregamento
PickStation 2	Estação Descarregamento (P1, P2, P3 ou P4)
Ir p Patio de Saida	Saida
Ir para Patio da Mina	Patio da Mina

Fonte: Do Autor / 2016

Abaixo, serão descritos detalhadamente todos os blocos utilizados no processo, bem como as suas tipologias e características no sistema.

As entidades geralmente dão entrada no sistema simulado somente por um bloco denominado “Create”, porém esse bloco foi duplicado, pois existem dois tipos de caminhões utilizados na empresa, fazendo com que fosse melhor desenvolvido o sistema com a criação das duas estações de entradas, chamadas de “CB” e “CA” e nestes mesmos blocos são inseridos os tempos de “Chegada dos Caminhões” e um tempo de espera chamado “DDS”, como mostra a Figura 19 e 20.

The screenshot shows a 'Create' dialog box with the following configuration:

- Name: CA
- Entity Type: CA_01
- Time Between Arrivals:
 - Type: Constant
 - Value: 60
 - Units: Seconds
- Entities per Arrival: 1
- Max Arrivals: 1
- First Creation: 600

Figura 19: Configuração do Bloco *Create* do Caminhão CA
Fonte: Do Autor

The screenshot shows a 'Create' dialog box with the following configuration:

- Name: CB
- Entity Type: CB_01
- Time Between Arrivals:
 - Type: Constant
 - Value: 60
 - Units: Seconds
- Entities per Arrival: 7
- Max Arrivals: 1
- First Creation: 600

Figura 20: Configuração do Bloco *Create* do Caminhão CB
Fonte: Do Autor

Logo após a criação destas entradas, foram criados dois módulos do tipo “Assign”, nos quais são inseridos os dados de tempos de cada Caminhão, como os tempos de “Carregamento”, “Deslocamento Carregado” e “Descarregado”, “Descarregamento”, “Prioridades” e as “Entidades Animadas” dos Caminhões, como mostra as Figuras 21 e 22. Neste módulo, foram colocadas prioridades, onde o caminhão articulado tem maior necessidade em ser atendido, pois o mesmo é mais rápido e tem maior produtividade.

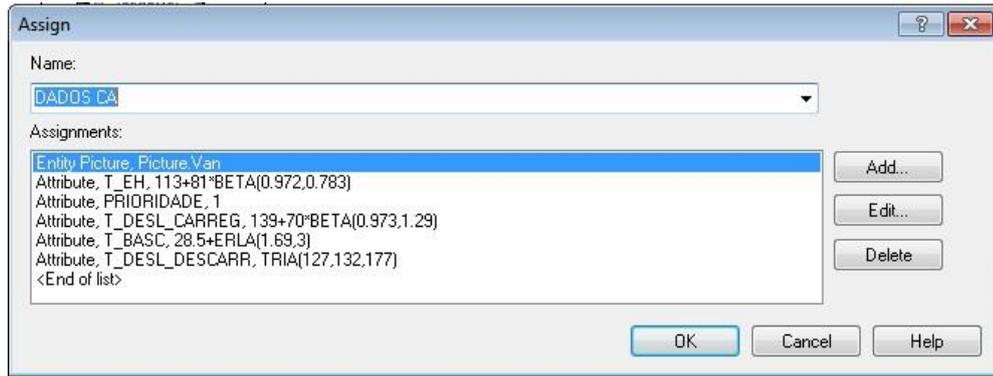


Figura 21: Configuração do bloco *Assign* do Caminhão CA

Fonte: Do Autor

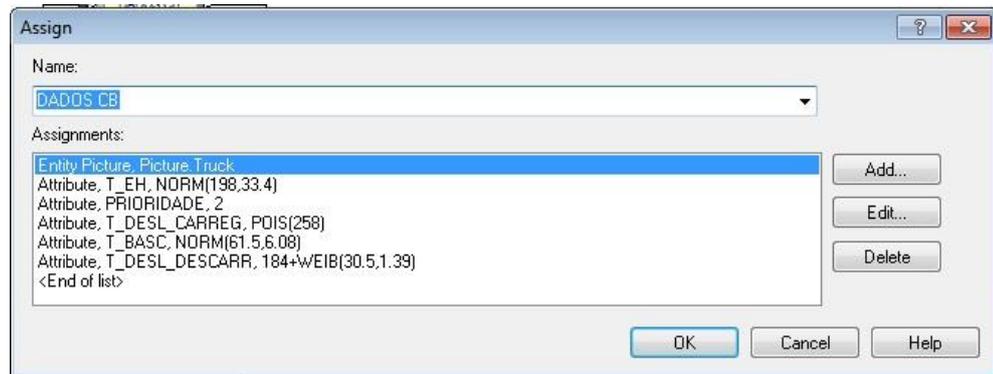


Figura 22: Configuração do bloco *Assign* do Caminhão CB

Fonte: Do Autor

Após a criação dos dados no módulo *Assign*, foi necessário inserir uma estação de entrada em conjunto com um bloco *Leave*, para que os caminhões possam ter acesso ao Pátio da Mina, como demonstrado nas Figuras 23 e 24 logo a seguir.

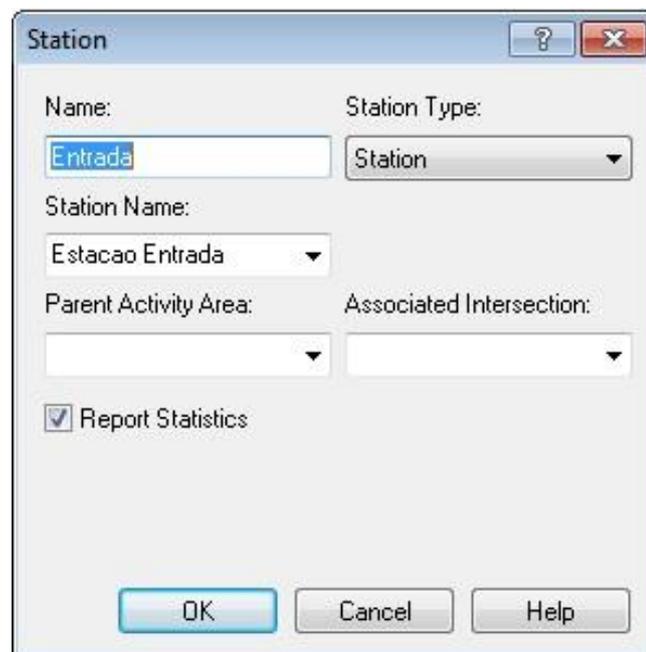


Figura 23: Configuração do bloco *Station* dos Caminhões

Fonte: Do Autor

Figura 24: Configuração do bloco *Leave* dos Caminhões com destino ao Pátio da Mina
Fonte: Do Autor

Em seguida as entidades chegam a um módulo “*Station*” chamado de Pátio da Mina, onde há uma ligação com um módulo chamado “*PickStation 1*”, figuras 25 e 26, onde irá decidir para qual equipamento de carga o caminhão será alocado, criando assim outro módulo “*Process*” chamado de EH, exemplificado na Figura 27. Neste processo, utilizam-se quatro equipamentos de carga, todos com os tempos de carregamento semelhantes, onde verifica-se a disponibilidade dos recursos. No momento em que se libera um recurso, o primeiro caminhão que está na fila aloca-se para o recurso e assim por diante.

Figura 25: Bloco *Station* – Estação Pátio da Mina
Fonte: Do Autor

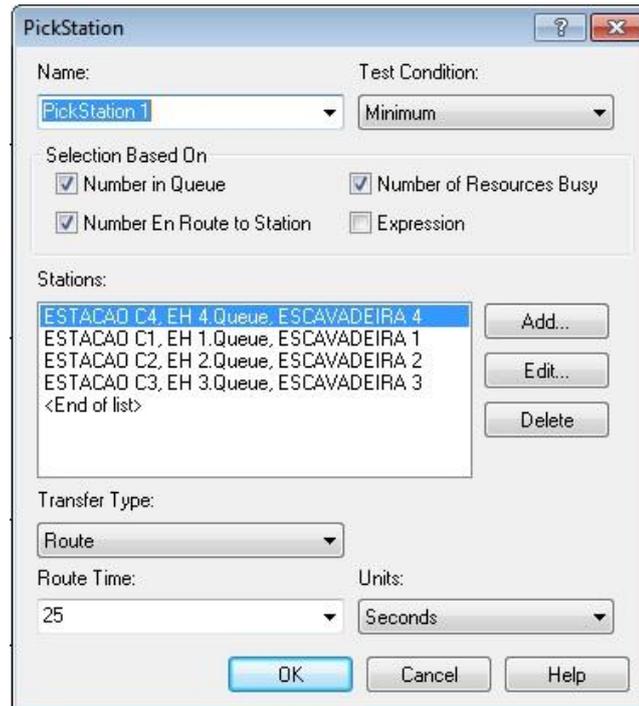


Figura 26: Configuração do bloco *PickStation 1* – Seleciona o Equipamento Disponível
Fonte: Do Autor

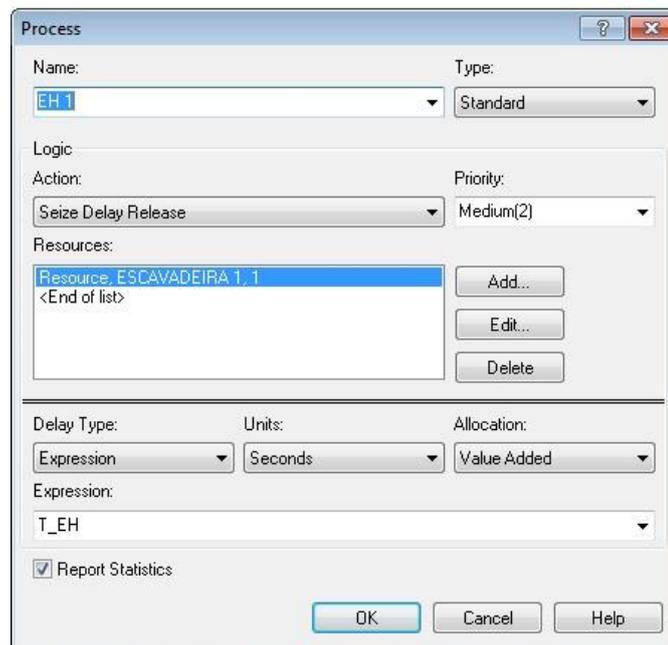


Figura 27: Configuração do bloco *Process* – Recurso dos Equipamentos de Carga
Fonte: Do Autor

Depois de feito o carregamento dos caminhões, os mesmos vão para uma área de descarregamento, onde o material será estocado em uma pilha, sendo necessário a criação de um módulo “*Leave*”, chamado de “Ir para a área de carregamento”, e outro módulo “*Station*”, chamado de “Área de descarregamento”. Depois da criação destes blocos, será necessário a criação de um “*PickStation 2*”, no qual irá verificar qual área de descarregamento está livre e enviar os caminhões, sendo nesta etapa criado um módulo “*Process*”, chamado de D, sendo

que neste processo, utilizam-se quatro pilhas de estocagem, onde verifica-se a disponibilidade das mesmas. No momento em que se libera uma pilha de estocagem, o primeiro caminhão que está na fila aloca-se para o descarregar e assim por diante. Os módulos destas etapas estão mostrados nas Figuras 28, 29, 30 e 31.

Figura 28: Configuração do Módulo *Leave* dos Caminhões com destino a Pilha de Estocagem
Fonte: Do Autor

Figura 29: Bloco *Station* – Estação Area de Descarregamento
Fonte: Do Autor

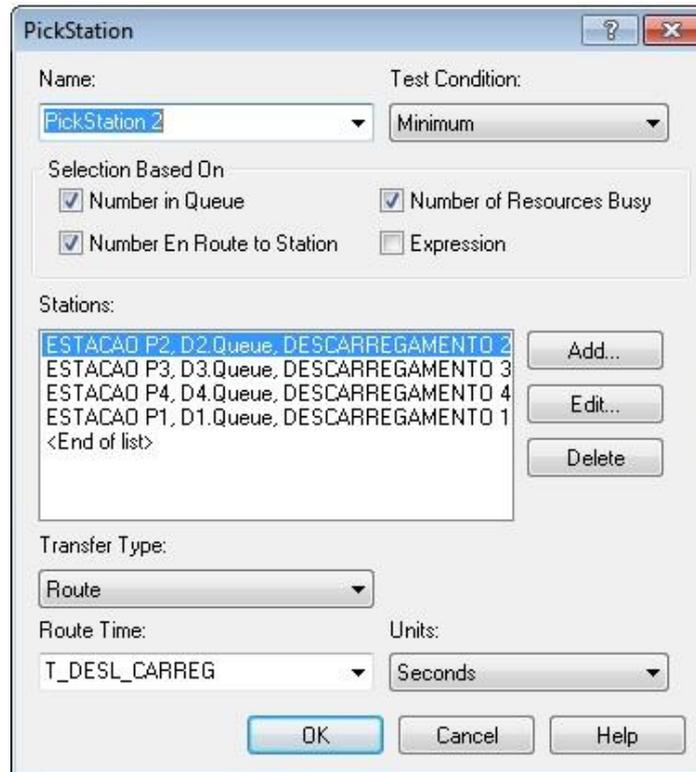


Figura 30: Configuração do bloco *PickStation 2* – Seleciona Pilha de Estocagem Disponível
Fonte: Do Autor

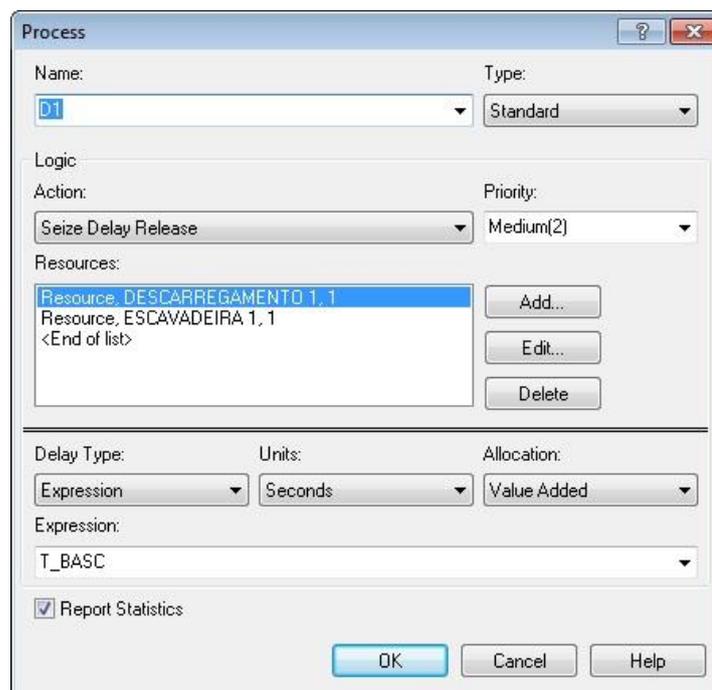


Figura 31: Configuração do bloco *Process* – Recurso das Pilhas de Estocagem
Fonte: Do Autor

Depois dos Caminhões efetuarem o descarregamento do material, os mesmos devem decidir se devem voltar para transportar mais material ou se vão para a estação final, porém isso irá depender da hora, ou seja, caso o transporte comece às 00:00h, o caminhão irá

entender que não é para dar mais viagens se a hora exceder 05:45h. Abaixo serão ilustradas as Figuras 32, 33 e 34, exemplificando o que foi dito acima.



Figura 32: Configuração do bloco *Decide* – Decisão se vai transportar mais material ou finalizar o turno
Fonte: Do Autor

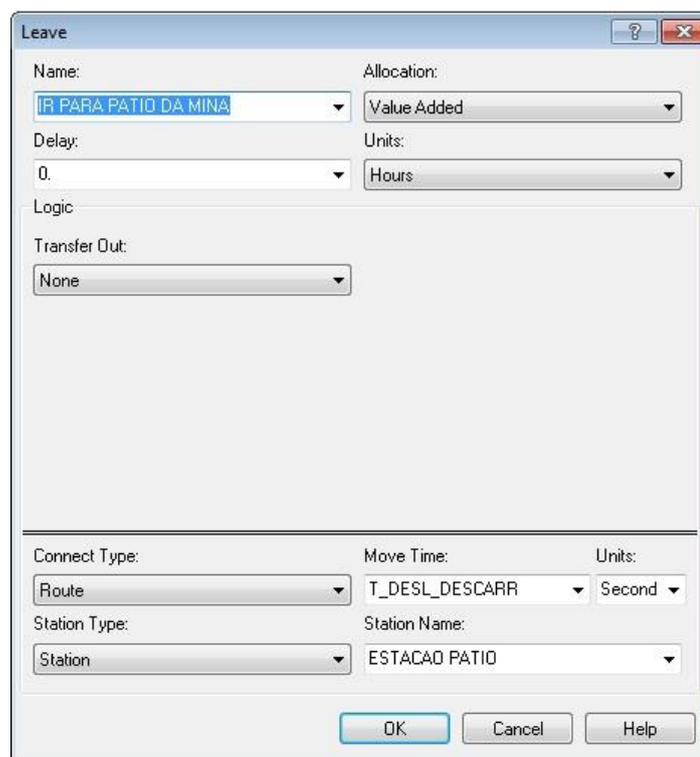


Figura 33: Configuração do módulo *Leave* dos Caminhões com destino ao Pátio da Mina
Fonte: Do Autor

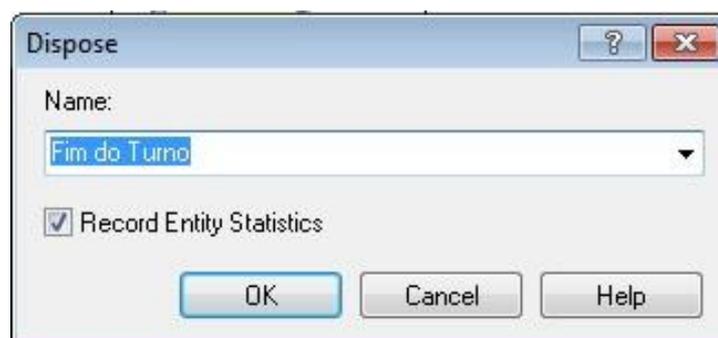


Figura 34: Configuração do módulo *Dispose* – Fim do Turno
Fonte: Do Autor

Com todas estas etapas descritas e dados inseridos, o sistema é capaz de gerar os dados que posteriormente serão analisados, porém será necessário validar os dados simulados comparando-os com os dados reais obtidos na coleta em campo.

4.4 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO SIMULADO

A verificação teve a finalidade de encontrar erros ou correções necessárias antes que o modelo pudesse ser validado, para isso, utilizou – se técnicas como variação dos dados de entradas, simplificação das etapas e verificação para ver se os resultados obtidos foram consistentes.

A validação dos dados é uma das etapas mais importantes da simulação, pois sem ela, não pode-se afirmar com precisão se o modelo está representando a realidade da atividade. Objetiva-se comprovar que os dados são verídicos e verificar o número de replicações necessárias para cada intervalo de confiança exigido na pesquisa.

Para a validação, adotou-se um intervalo de confiança de estatística de 95%, conseqüentemente um $\alpha = 0,05$ e 15 replicações iniciais, para a partir dos resultados, possibilitar encontrar o número de replicações necessárias para a validação do sistema. Para isso, utiliza – se uma fórmula, sendo esta descrita abaixo.

Foi necessário utilizar o método empírico de determinação do tamanho da amostra, utilizando a fórmula,

$$n^* = [n (h/h^*)^2]$$

Onde:

n^* = a nova estimativa para n

h = semi – intervalo de confiança obtido

h^* = semi - intervalo de confiança desejado

Com os dados obtidos no relatório do software ARENA, *Output Analyzer*, obteve – se os seguintes dados:

$n = 15$ replicações

$h = 63,145$

$h^* = 603,73$ (10% da média)

Então,

$$n^* = [15 (63,145 / 603,73)^2]$$

Logo,

$$n^* < 1$$

Então temos que as 15 replicações são suficientes para validar o sistema simulado.

Ao analisar o processo simulado com o conjunto de dados reais obtidos na coleta em campo, no Quadro C do Apêndice B, verifica-se que utilizando o mesmo tempo de produção houve uma semelhança e um erro consideravelmente baixo, pois a produção simulada deu uma média de 6037,3 toneladas e a real de 5810 toneladas (diferença de 3,7%), no dia 8 de agosto de 2015. Desse modo, pode-se afirmar que o modelo simulado representa o sistema real da atividade de carregamento e transporte de material.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Este capítulo da monografia será destinado para analisar os resultados obtidos na simulação computacional, que teve como finalidade a identificação de gargalos e/ou ociosidades, e posteriormente, propor melhorias ao processo. Toda essa análise do modelo é viabilizada, tendo em vista que o processo simulado foi capaz de recriar a realidade do sistema.

A verificação foi feita na fase de desenvolvimento do modelo proposto. Com a ajuda do software ARENA foi possível identificar erros contidos no sistema e na sua sequência lógica, facilitando a execução desta etapa do processo. Conforme mostrado no capítulo anterior, toda a validação do modelo ocorreu por meio da comparação das variáveis de saída do modelo de simulação com os dados reais coletados em campo. Esta etapa tem como finalidade a realização de experimentações no modelo desenvolvido por meio de análise de sensibilidade e a comparação de cenários.

A análise de sensibilidade objetiva o estudo do sistema através de alterações em algumas de suas variáveis proporcionando a identificação dos impactos que estes tipos de mudanças acarretaram no sistema. Já na comparação de cenários busca-se através de estudos, encontrar a melhor estratégia utilizando os recursos disponíveis com o intuito de alcançar um objetivo específico.

Para a mensuração dos resultados alcançados através da simulação, utiliza-se a quantidade de viagens feitas no turno e toneladas transportadas. Como existem caminhões diferenciados, foi necessário verificar quais estavam disponíveis para a execução da atividade, levando em conta os custos de produção dos equipamentos.

5.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Durante a execução do mapeamento da atividade produtiva na mina, alguns detalhes foram observados pelos funcionários da empresa. Dentre eles destaca-se a quantidade de manutenções que as máquinas sofriam durante o processo. Na maioria dos casos as máquinas precisavam ser paradas para realizar alguma manutenção corretiva. Esse tipo de manutenção tem grande impacto no desempenho, na produtividade da atividade e no resultado final.

Na maior parte dos casos, a parada demora cerca alguns minutos e a quantidade de paradas tem variação de acordo com o desgaste do equipamento, dependendo do ritmo da produção e o estado do ambiente.

Observou - se que ao sofrer uma parada nos equipamentos, há um retardo no processo de carregamento e transporte. Isso provoca ociosidades ou filas na produção, uma vez que os

equipamentos devem estar em perfeita sincronia para a realização da atividade de forma eficiente. Portanto, decidiu-se analisar o sistema alterando-se a quantidade de caminhões e escavadeiras hidráulicas, afim de aumentar a utilização dos equipamentos, tendo em vista que o processo não está otimizado.

No sistema desenvolvido essa alteração é feita através da configuração nos blocos *Create*, que tem a função de inserir a quantidade de caminhões entrando no modelo. Assim, não será necessário fazer alterações nos tempos das atividades, pois os dados somente são modificados na estação “Chegada”, permanecendo intactos os outros dados. A Figura 35 exemplifica as alterações que são feitas no modelo.

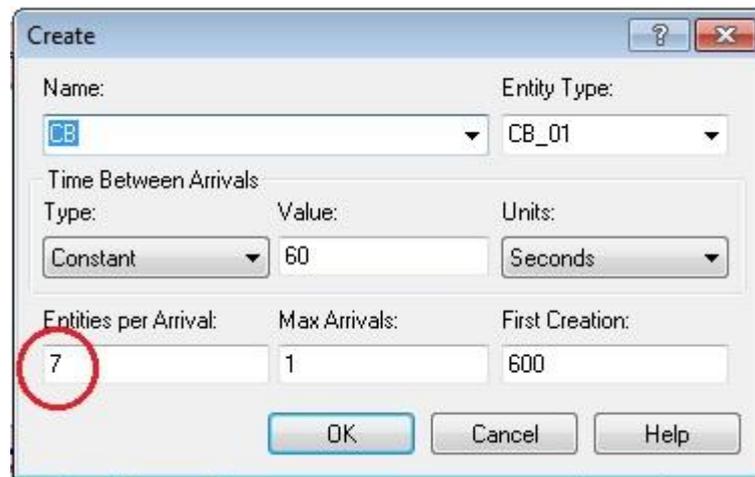


Figura 35: Alteração do Módulo Create
Fonte: Do Autor

Após serem feitas as devidas modificações, é possível iniciar as comparações dos cenários, com o objetivo de identificar possíveis melhorias no sistema.

5.2 CENÁRIOS ALTERNATIVOS AO SISTEMA REAL

Esta fase da monografia tem como finalidade a criação de cenários alternativos e comparar com o resultado obtido anteriormente (dados reais) a fim de identificar a melhor estratégia de produção. Os cenários foram criados a partir de observações feitas em campo (sistema real) e estudados de acordo com a capacidade da empresa, buscando otimizar o processo.

Ao observar a utilização dos equipamentos de carga, verificou-se que os mesmos estavam trabalhando com bastante ociosidade, isto é, a empresa não estava com o processo otimizado. Devido à falta de planejamento operacional de curto prazo, sendo verificado que em alguns casos a produção variava bastante durante os turnos do dia.

Decidiu-se então desenvolver através da simulação computacional, cenários em que fossem utilizadas as quantidades ideais de caminhões e escavadeiras, para que o processo seja otimizado e trabalhe de forma eficiente.

No Quadro 09 é comparada a quantidade de equipamentos real e simulada, com 04 (quatro) cenários alternativos. Nota-se que foi feito uma busca de cenários obedecendo-se o número máximo de 12 equipamentos.

Quadro 09: Cenários Alternativos

	REAL	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4
ESCAVADEIRA HIDRÁULICA	4	4	3	3	3
CAMINHÃO BASCULANTE	7	6	7	6	7
CAMINHÃO ARTICULADO	1	2	1	2	2
TOTAL EQUIPAMENTOS	12	12	11	11	12

Fonte: Do Autor / 2016

Não foram utilizadas todas as opções possíveis para a formulação do problema, devido existirem inúmeras combinações, porém os cenários utilizados foram obtidos, de acordo, com as melhores estratégias, visando eliminar os desperdícios e ao mesmo tempo, maximizar o processo.

5.3 DIAGNÓSTICO DOS CENÁRIOS

Nesta etapa, é exposta a análise dos resultados obtidos através das modificações feitas na atividade de carregamento e transporte.

Houve a necessidade da introdução dos custos para uma mensuração do resultado final, uma vez que com a utilização de unidade monetária, pode-se decidir qual a estratégia que maior viabiliza o projeto. Para isso foram utilizados alguns valores bases para formulação dos cálculos. Esses valores são demonstrados no Quadro 10.

Quadro 10: Dados para Cálculos dos Custos

TONELADAS (ton.)		PREÇO (R\$) TON. PRÓPRIO	MESES
CB	35	0,22	12
CA	30		
Conversão m ³ para toneladas		TEOR MINÉRIO	PREÇO COBRE (\$)
	3	0,85%	4500
TURNOS DIÁRIOS		MINÉRIO / PROD.	PREÇO COBRE (R\$)
	4	21,61%	18000
DIAS (MÊS)		PREÇO (R\$) TON. TERCEIRIZADA	
	26	0,83	

Fonte: Do Autor / 2016

Através da mudança de cenários na simulação computacional, foi possível a identificação de alguns fatores que influenciaram na escolha dos cenários. Esses fatores foram: Quantidades de Equipamentos, Ganho em Produção, Redução com Gastos de Terceiros, Gastos com Equipamentos Próprios e Resultados. Assim, os Quadros 11, 12, 13, 14 e 15 mostram os resultados alcançados após o estudo e os valores de referência para os cálculos dos custos e produção.

Quadro 11: Quantidade de Equipamentos

EQUIPAMENTOS X CENÁRIOS	REAL	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4
ESCAVADEIRA HIDRÁULICA	4	4	3	3	3
CAMINHÃO BASCULANTE	7	6	7	6	7
CAMINHÃO ARTICULADO	1	2	1	2	2
TOTAL EQUIPAMENTOS	12	12	11	11	12

Fonte: Do Autor / 2016

Quadro 12: Ganho em Produção

	REAL	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4
VIAGENS CAMINHÃO BASC.	146	126	138	119	130
VIAGENS CAMINHÃO ARTI.	31	57	26	54	49
PRODUÇÃO (ton.)	6.040	6.120	5.610	5.785	6.020
GANHO (ton.)	-	80	-430	-255	-20
	REAL	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4
MINÉRIO DE COBRE (M/P)	-	17	-93	-55	-4
GANHO MENSAL (R\$)	-	275.023	-1.478.249	-876.636	-68.756
GANHO ANUAL (R\$)	-	3.300.276	-17.738.984	-10.519.630	-825.069
RESULTADO ANUAL PRODUÇÃO	-	GANHO	PERDA	PERDA	PERDA

Fonte: Do Autor / 2016

Quadro 13: Redução com Gastos de Terceiros

	REAL	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4
VIAGENS CAMINHÃO BASC.	146	126	138	119	130
PROD. TERCEIRIZADA (ton.)	5.110	4.410	4.830	4.165	4.550
CUSTO MENSAL TERCEIRIZADA (R\$)	442.867	382.200	418.600	360.967	394.333
CUSTO ANUAL TERCEIRIZADA (R\$)	5.314.400	4.586.400	5.023.200	4.331.600	4.732.000
RESULTADO ANUAL CUSTO FROTA TERC.	-	GANHO	GANHO	GANHO	GANHO

Fonte: Do Autor / 2016

Quadro 14: Redução com Gastos de Equipamentos Próprios

	REAL	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4
VIAGENS CAMINHÃO ARTC.	31	57	26	54	49
PROD. PRÓPRIA (ton.)	930	1.710	780	1.620	1.470
CUSTO MENSAL PRÓPRIO (R\$)	21.601	39.718	18.117	37.627	34.143
CUSTO ANUAL PRÓPRIO (R\$)	259.210	476.611	217.402	451.526	409.718
RESULTADO ANUAL CUSTO FROTA PRÓPRIA	-	PERDA	GANHO	PERDA	PERDA

Fonte: Do Autor / 2016

Quadro 15: Resultados

	REAL	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4
GANHO PRODUÇÃO (R\$)	-	3.300.276	-17.738.984	-10.519.630	-825.069
REDUÇÃO CUSTO TERCEIRIZADA (R\$)	-	728.000	291.200	982.800	582.400
CUSTO PRÓPRIO (R\$)		-217.402	41.808	-192.317	-150.509
GANHO ANUAL TOTAL (R\$)	-	3.810.874	-17.405.976	-9.729.147	-393.178
STATUS	-	GANHO	PERDA	PERDA	PERDA

Fonte: Do Autor / 2016

Cenário 1: Neste cenário, foi adicionado 1 (um) caminhão articulado e retirado 1 (um) caminhão basculante. O caminhão articulado tem como fator positivo, ser mais rápido que os caminhões basculantes. Ao analisar a parte produtiva, este cenário proporcionou um ganho de 80 toneladas de material bruto por turno na produção (minério e estéril), representando um ganho médio de 17 toneladas de minério de cobre por turno, ganho mensal de R\$ 275.023,00, e ganho anual de R\$ 3.300.276,00. Em relação aos custos com empresa terceirizada, houve uma redução de R\$ 728.000,00 anuais e aumento no custo próprio de R\$ 217.402,00. Totalizando um ganho de R\$ 3.810.874,00 anuais.

Cenário 2: Neste cenário, foi retirada 1 (uma) escavadeira hidráulica, tendo em vista que havia ociosidades no sistema. Com essa retirada, houve uma perda de produção de 430 toneladas de material bruto por turno na produção (minério e estéril), representando uma perda média de 93 toneladas de minério de cobre por turno e uma perda mensal de R\$ 1.478.249,00 e R\$ 17.738.984,00 anual. Quanto ao custo com terceirizadas, houve uma redução de R\$ 291.200,00 anuais. Houve também redução no custo próprio de R\$ 41.808,00. Totalizando uma perda de R\$ 17.405.976,00 anuais.

Cenário 3: Neste cenário, foi retirada 1 (uma) escavadeira hidráulica, retirado 1 (um) caminhão basculante e adicionado 1 (um) caminhão articulado. Com esse novo cenário, houve uma perda de produção de 255 toneladas de material bruto na produção por turno (minério e estéril), representando uma perda média de 55 toneladas de minério de cobre por turno e uma perda mensal de R\$ 876.636,00 e R\$ 10.519.630,06 anual. Quanto ao custo com terceirizadas,

houve uma redução de R\$ 982.800,00 anual. Já nos custos com equipamentos próprios, houve um aumento de custo de R\$ 192.317,00. Totalizando uma perda de R\$ 9.729.147,00 anuais.

Cenário 4: Neste último cenário, foi retirada 1 (uma) escavadeira hidráulica e adicionado 1 (um) caminhão articulado. Com esse novo cenário, houve uma perda de produção de 20 toneladas de material bruto por turno (minério e estéril), representando uma perda média de 4 toneladas de minério de cobre por turno e uma perda mensal de R\$ 68.756,00 e R\$ 825.069,00 anual. Quanto ao custo com terceirizadas, houve uma redução de R\$ 582.400,00 anuais. Gastos com frota própria aumentaram em R\$ 150.509,00. Totalizando uma perda de R\$ 393.178,00 anuais.

Com a análise dos cenários, pode-se verificar os pontos fortes e fracos de cada um e obter o melhor resultado.

Apesar de todos os Cenários apresentarem redução de custos com terceirizadas, nem todos viabilizam a execução da mudança, devido as perdas por produção. Ainda existem os custos referentes aos equipamentos próprios, sendo que somente no Cenário 2 houve redução em seu custo, porém isso ocorreu devido à baixa produção, o que inviabiliza a implantação deste cenário.

O Cenário 1 foi o que apresentou o melhor resultado, apesar de ter um aumento nos custos com equipamentos próprios, o mesmo teve ganho na produção e redução nos custos com terceirizada. Todos esses fatores juntos viabilizaram a escolha deste cenário, tendo em vista que melhorou a eficiência do processo e gerou ganhos.

O sistema mostra que embora a produção da atividade simulada tenha aumentado, não houve mudança de *layout* e nem alteração dos tempos. Esse ganho produtivo é devido ao melhor aproveitamento dos recursos de trabalho, ou seja, foi redimensionada a frota de equipamentos, reduzindo ociosidades no sistema e aumentando os ganhos.

6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos dias atuais, as empresas de mineração buscam cada vez mais realizar as atividades de maneira eficiente e com intervalos de tempos cada vez menores. Devido à grande exigência dos consumidores, as mesmas são obrigadas a adquirir tecnologias modernas que sejam capazes de melhorar a produtividade, contudo, os profissionais devem estar aptos para a realização das suas funções.

Tendo em vista a utilização de vários autores e suas definições, observou-se que a Simulação Computacional é de fundamental importância para a sobrevivência das empresas que buscam vantagem competitiva no cenário atual, porém devem ser feitas análises dos principais meios de restrições da empresa, focando a medição de desempenho para os pontos fracos, para que sejam criadas soluções e melhorias nos seus processos.

Outro fator importante refere-se à Simulação servir de base para a tomada de decisão gerencial em nível estratégico, porém essas simulações só informarão os resultados desejados se o pessoal que fornecer as informações for capacitado para o manuseio da mesma e que todas as informações dos bancos de dados sejam verdadeiras.

Nesta Monografia, foi feito um estudo da atividade de carregamento e transporte em uma mineração através da modelagem e simulação computacional. Foi comprovado que a simulação é uma ferramenta capaz de auxiliar na tomada de decisão e visualizar o processo de maneira mais detalhada. Através da simulação é possível a identificação de gargalos, utilização, ociosidades e falhas no decorrer das atividades.

Os dados alcançados através da simulação do processo são validados por meio do confronto da amostra de dados reais coletados na organização com os resultados dos relatórios gerados pelo software ARENA 14.7 obtidos pela simulação.

6.2 COLABORAÇÃO DA MONOGRAFIA

Esta Monografia mostrou que este tipo de trabalho é bastante importante para o avanço competitivo no setor mineral. Teve como principal característica a utilização de modelos computacionais para exemplificar que a simulação computacional é utilizada como suporte para tomadas de decisão e não atrapalha no sistema real, uma vez que não são feitas alterações no sistema real.

Neste tempo de estudo, notou-se que a empresa pode melhorar seus processos através de softwares sem a necessidade de agir de maneira equivocada, como é o caso da melhoria da

produtividade na atividade estudada. Outro fator importante, é que através da modelagem e simulação, foi possível identificar os pontos fracos do processo e agir sobre os mesmos.

6.3 TRABALHOS POSTERIORES

Através dos resultados obtidos, outros trabalhos podem ser feitos na organização, afim de identificar novos pontos fracos e estudá-los afim de melhorar o processo.

- I) Criação de um modelo mais amplo do processo, com algumas etapas diferentes, realizadas através do mapeamento do fluxograma;
- II) Simular a aquisição de maquinários mais modernos e com melhores especificações;
- III) Permitir a simulação de períodos mais longos, que levam em considerações fatores extra empresariais, como a demanda e os custos da matéria prima.

6.4 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que no trabalho, o observador mantenha-se atento a todas as ocorrências durante todo o processo de estudo. Não deve-se nunca mascarar os resultados afim de obter ganhos surreais e principalmente, sempre documentar os dados obtidos para validação dos resultados.

Com os resultados adquiridos através das simulações feitas no *Software* ARENA, deve-se criar um controle ou monitoramentos onde possam ser eliminados os gargalos, aumentando a capacidade do processo estudado.

Com a implementação e análise das simulações, obtêm-se a finalidade de quantificar o desempenho das atividades prestadas pela empresa, permitindo assim, a implementação de melhorias contínuas.

REFERÊNCIAS

- ACKOFF, R. L. *Fundamentals of Operations Research*. New York: John Wiley, 1968.
- AMARAL, M. **Modelos matemáticos e heurísticas para auxílio ao planejamento de operações de lavra em minas a céu aberto**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas. 2008. 108p.
- ARAÚJO, F.C.R.; SOUZA, M.J.F.; TOLEDO, J.P. **Um Método Híbrido, Baseado em Simulated Annealing e Método da Subida, para Resolver o Problema de Seleção de Projetos Mineiros Concorrentes: IV Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto e IV Congresso Brasileiro de Mina Subterrânea**. Belo Horizonte, 2006.
- BARNES, Ralph M. **Estudo de movimentos e tempos**. São Paulo: Edgar. Blucher, 1977.
- BARROS, A. J. S. e LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia: Um Guia para a Iniciação Científica**. 2 Ed. São Paulo: Makron Books, 2000.
- BRYMAN, Alan. *Research methods and organization studies*. London: Unwin Hyman, London, 1989.
- CAVALCANTI, Andréia V. **O Preconceito da Deficiência no processo de Inclusão Escolar**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Educação, Universidade de Brasília, 2004.
- CHIRONES, N. P. *Computer monitors and controls all Truck-Shovel operations*. Coal Age, 50-55, 1985.
- CHUNG, C. A. *Simulation modeling handbook: a practical approach*. Florida: CRC Press, 2004.
- CONTADOR, José C. **Gestão de operações: Engenharia de Produção a serviço da modernização da empresa**. São Paulo: Edgar Blucher, 1998.
- CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativos, quantitativos e mistos**. Porto Alegre: Artmed, 2007.
- DOCOL; **Apostila de Realização de Estudos de Tempos e Movimentos**, 1989. Não publicado.
- FILHO, C. P. & SCHAFRANSKI, E. L. **O uso do software de simulação arena para desenvolvimento de jogos de empresas – o protótipo gpcp-1**. Artigo publicado em 2003.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Disponível em: <www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2015

FREITAS, Filho Paulo José de. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. 2.ed. ver. e atual. / Paulo Jose de Freitas Filho. – Florianópolis: Visual Books, 2008.

GANGA, Gilberto Miller Devós. **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) na Engenharia de Produção**. São Paulo: Atlas, 2012.

GARVIN, D.A. *Competiny on the Eight Dimensions of Quality*. Haward Business Review, p.101-109, November / December, 1987.

GHAURI, Pervez; GRONHAUG, Kjell; KRISTIANSLUND, Ivar. **Research methods in business studies: a practical guide**. [S.l.]: Prentice Hall, 1995.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2007.

GOLDENBERG, Mirian. **Arte de pesquisar**. Rio de Janeiro: Record, 1997.

INTRAMINA. **Mineração Caraíba**. Disponível em: <<http://intramina.mcsa.com.br/>> . Acesso em: 06 jul. 2014.

JULIAN H. KANG, SUNG-MO AHN AND JI-HYUN NAM; **Productivity assessment of rock transportation trucks using simulation technology**, 2006.

JURAN, JOSEPH M. et. al. **Controle da Qualidade Handbook - Conceitos, Políticas e Filosofia da Qualidade**. São Paulo: McGraw Hill , 1991.

KITTEL, C. *The nature and Development Of Operations Research*. Science 105, 1947.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões: modelagem em Excel**. São Paulo: Campus, 2006.

LAW, A. M. & MCCOMAS, M. G. **How to select simulation software for manufacturing applications, Industrial Engineering**, p. 29-35, 1992.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. New York: McGraw-Hill, 1982.

MARTINS, Petrônio G. Laugeni, Fernando P. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 2006.

MINAYO, M. C. S. (Org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Rio de Janeiro: Vozes, 2001.

MIYAGI, P. E. **Introdução a Simulação Discreta**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, SP, p.1-12, 2002.

PEGDEN, C.D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. E. *Introduction to Simulation Using SIMAN*, McGraw-Hill, NY, 2. Ed., 1990.

PEREIRA, J.C.R. **Análise de dados qualitativos**. São Paulo: Edusp; 2001.

POP-ANDONOV, S MIJALKOVSKI, Z DESPODOV. **Application of ARENA computer program for computer simulation of the underground mine transport**. 2011.

PRADO, Darci Santos do. **Teoria das Filas e da Simulação**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

PRADO, Darci Santos do. *Usando o Arena em Simulação*. Darci Santos do Prado – Belo Horizonte (MG). INDG Tecnologia e Serviços Ltda. – 2003 (Série Pesquisa Operacional – Volume 3).

RAMOS NETO, A.N. **Desenvolvimento de um Template no programa Arena para a simulação das operações de carregamento e transporte em minas a céu aberto**. Ouro Preto: PPGEM/EM/UFOP, 113p., 2003(Dissertação de Mestrado).

ROESCH, Sylvia M. A. **Projetos de estágio e de pesquisa em administração: guia para estágios, trabalhos de conclusão, dissertações e estudos de caso**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. **Estudo Comparativo de Softwares de Simulação de Eventos Discretos Aplicados na Modelagem de um Exemplo de Loja de Serviços**. In: XXIII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2003, Ouro Preto - MG. ENEGEP 2003. Porto Alegre: ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2003.

SANTOS Jorge Luís dos. **Apostila de Técnicas e Cálculos de Processos**. 1999. Não publicado.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1999.

SOUTO, M. S. M. Lopes. **Apostila de Engenharia de métodos. Curso de especialização em Engenharia de Produção –UFPB**. João Pessoa. 2002.

SOUZA, T. F. **A simulação a eventos discretos como ferramenta de apoio à tomada de decisão em empresas do ramo de mineração: aplicação em uma unidade da Yamana Gold**. 175 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, Ouro Preto, 2009.

STEFFEN, Diego Augusto; Cassel, Ricardo A. **Relatório Final da Simulação do abastecimento da TNT no condomínio industrial da General Motors (GM)**. 2005

STEVENSON, Willian J. **Administração das Operações de Produção**. 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

TAYLOR, Frederick W. **Princípios da Administração Científica**. São paulo: Atlas, 1995.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação.** São Paulo: Atlas, 1987.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática.** São Paulo: Atlas, 2009.

VENTURA, C. A. et al. **Preparation of celecoxib-dimethyl-beta-cyclodextrin inclusion complex: characterization and in vitro permeation study.** Eur J Med Chem, v. 40, n. 7, p. 624-631, 2005.

YIN, Robert K. **Estudo de caso – planejamento e métodos.** (2Ed.). Porto Alegre: Bookman. 2001.

APÊNDICE A

Quadro A: Tempos do Caminhão Basculante - CB

CAMINHÃO BASCULANTE (minutos)			
TEMPO DE CARGA	DESLOCAMENTO CARREGADO	TEMPO DE BASCULAMENTO	DESLOCAMENTO DESCARREGADO
00:03:21	00:04:48	00:01:06	00:03:23
00:03:46	00:04:15	00:01:07	00:03:07
00:03:38	00:03:58	00:01:20	00:03:35
00:02:56	00:04:00	00:01:00	00:03:13
00:03:02	00:04:30	00:01:07	00:03:10
00:02:45	00:04:10	00:01:10	00:04:01
00:02:53	00:04:55	00:01:03	00:03:21
00:03:03	00:04:16	00:01:01	00:03:24
00:03:28	00:04:12	00:01:08	00:04:14
00:04:16	00:03:56	00:00:58	00:03:37
00:04:02	00:03:59	00:01:00	00:03:21
00:03:27	00:04:34	00:01:02	00:03:08
00:04:01	00:04:14	00:01:02	00:03:23
00:03:13	00:04:16	00:01:11	00:03:13
00:03:28	00:04:32	00:01:00	00:03:38
00:04:01	00:04:15	00:01:01	00:03:04
00:03:28	00:04:17	00:01:04	00:03:22
00:01:33	00:03:51	00:01:00	00:03:17
00:03:31	00:04:35	00:01:00	00:03:41
00:03:14	00:04:26	00:01:03	00:03:14
00:03:11	00:04:44	00:00:58	00:04:27
00:04:12	00:03:53	00:01:07	00:03:32
00:03:06	00:04:37	00:00:52	00:03:51
00:03:12	00:04:13	00:01:05	00:04:03
00:02:27	00:04:09	00:01:00	00:03:33
00:03:32	00:04:15	00:01:00	00:03:14
00:03:21	00:04:29	00:00:51	00:03:38
00:03:14	00:03:54	00:00:57	00:03:47
00:02:27	00:04:16	00:00:53	00:03:31
00:03:33	00:04:13	00:00:48	00:04:02

Fonte: Do autor / 2016

Quadro B: Tempos do Caminhão Articulado - CA

CAMINHÃO ARTICULADO (minutos)			
TEMPO DE CARGA	DESLOCAMENTO CARREGADO	TEMPO DE BASCULAMENTO	DESLOCAMENTO DESCARREGADO
00:02:22	00:03:26	00:00:31	00:02:52
00:03:11	00:02:45	00:00:36	00:02:20
00:02:12	00:02:47	00:00:33	00:02:12
00:02:22	00:02:53	00:00:37	00:02:07
00:03:02	00:02:45	00:00:35	00:02:16
00:02:21	00:02:46	00:00:37	00:02:31
00:03:08	00:03:16	00:00:31	00:02:56
00:02:52	00:02:39	00:00:35	00:02:10
00:02:12	00:03:14	00:00:34	00:02:42
00:02:59	00:02:54	00:00:31	00:02:20
00:02:21	00:02:34	00:00:30	00:02:33
00:01:53	00:02:45	00:00:34	00:02:45
00:03:01	00:02:19	00:00:40	00:02:12
00:02:44	00:03:28	00:00:37	00:02:24
00:02:23	00:03:13	00:00:32	00:02:29
00:01:54	00:02:45	00:00:32	00:02:13
00:03:09	00:02:23	00:00:39	00:02:47
00:02:43	00:03:01	00:00:31	00:02:31
00:02:22	00:02:49	00:00:36	00:02:36
00:02:15	00:02:24	00:00:33	00:02:22
00:02:54	00:02:37	00:00:34	00:02:30
00:02:47	00:02:21	00:00:34	00:02:11
00:03:04	00:03:02	00:00:34	00:02:20
00:01:59	00:02:31	00:00:32	00:02:14
00:02:49	00:02:34	00:00:31	00:02:44
00:02:39	00:02:39	00:00:32	00:02:34
00:02:47	00:03:04	00:00:31	00:02:26
00:02:49	00:02:41	00:00:31	00:02:13
00:03:13	00:02:28	00:00:35	00:02:45
00:03:02	00:03:13	00:00:29	00:02:26

Fonte: Do autor / 2016

APÊNDICE B

Quadro C: Dados reais de Produção

 Mineração Caraíba S/A		RG-MCA-001	Sab	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb
MINA SUÇUARANA			1	2	3	4	5	6	7	8
TURNO I	SULFETO - M1	(t)	455	-	-	-	-	-	-	1.180
	SULFETO - M2	(t)	-	-	1.380	2.370	2.320	910	2.070	965
	SULFETO - M3	(t)	-	-	-	-	-	-	-	-
	MARGINAL	(t)	-	-	-	-	-	-	-	-
	OXIDADO	(t)	-	-	-	-	-	-	-	-
	ESTÉRIL	(t)	7.025	-	4.445	3.185	5.055	4.525	5.060	5.120
TOTAL		(t)	7.480	-	5.825	5.555	7.375	5.435	7.130	7.265
TURNO II	SULFETO - M1	(t)	1.100	-	-	60	-	-	-	1.625
	SULFETO - M2	(t)	-	-	980	2.015	1.535	1.730	1.290	1.530
	SULFETO - M3	(t)	-	-	-	-	-	-	-	-
	MARGINAL	(t)	-	-	-	-	-	-	-	-
	OXIDADO	(t)	-	-	-	-	-	-	-	-
	ESTÉRIL	(t)	5.330	-	5.285	3.450	3.155	5.310	3.605	1.905
TOTAL		(t)	6.430	-	6.265	5.525	4.690	7.040	4.895	5.060
TURNO III	SULFETO - M1	(t)	30	-	-	-	-	70	-	995
	SULFETO - M2	(t)	1.740	-	1.405	1.875	1.145	580	270	1.345
	SULFETO - M3	(t)	-	-	-	-	-	-	-	-
	MARGINAL	(t)	-	-	-	-	-	-	-	-
	OXIDADO	(t)	-	-	-	-	-	-	-	-
	ESTÉRIL	(t)	6.595	-	3.520	2.670	1.980	2.265	2.470	3.165
TOTAL		(t)	8.365	-	4.925	4.545	3.125	2.915	2.740	5.505
TURNO IV	SULFETO - M1	(t)	-	-	-	-	-	-	515	1.705
	SULFETO - M2	(t)	-	-	1.150	2.305	1.690	345	-	320
	SULFETO - M3	(t)	-	-	-	-	-	-	-	-
	MARGINAL	(t)	-	-	-	-	-	-	-	570
	OXIDADO	(t)	-	-	-	-	-	-	-	-
	ESTÉRIL	(t)	10.000	-	4.105	1.000	2.970	4.415	4.490	3.215
TOTAL		(t)	10.000	-	5.255	3.305	4.660	4.760	5.005	5.810

Fonte: Do Autor / 2015

Quadro 16: Cronograma da Monografia

Atividades	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Mar
Definição do Tema	X										
Problemática (Tema e Justificativa)	X	X									
Objetivos (Gerais e Específicos)		X									
Metodologia da Pesquisa		X	X								
Referencial Teórico		X	X	X	X						
Finalização do Projeto com referências					X						
Apresentação do Projeto						X					
Coleta de dados (Cronometragem)						X	X				
Mapeamento do Fluxo no <i>Software Arena</i> (Entrevistas)							X				
Introdução dos Dados no <i>Software Arena</i>							X	X			
Simular o Processo								X	X		
Validar o Processo									X		
Cenários Alternativos									X		
Resultados e Discursões									X	X	
Revisão Bibliográfica - Final										X	
Apresentação da Monografia											X

Fonte: Do Autor / 2016