3 Método de pesquisa

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento do modelo de simulação que é utilizado na presente dissertação assim como uma descrição da ferramenta computacional de simulação adotada. Em seguida, é abordado o estudo de caso realizado numa mina em fase de projeto e a metodologia utilizada para a coleta e processamento de dados.

3.1. Construção do Modelo

A construção de um modelo é necessária para conhecer algo do sistema que não se consegue observar diretamente, seja porque o sistema é muito difícil de manipular, seja porque ele não existe o que é o caso do presente estudo.

Devido à grande quantidade de variáveis que se devem ter em consideração na análise dos eventos aleatórios, o modelo que será utilizado na presente dissertação foi desenvolvido através de um método de Simulação Computacional que permitirá simular o processo de carregamento e transporte com um nível de detalhamento mais aprofundado, de forma que se assemelha ao funcionamento de um sistema real.

3.2. Justificando a simulação

Para Rodrigues (1995) *apud* Wellington (2007), os sistemas com um elevado grau de complexidade e aleatoriedade, o uso de simulação poderá ser mais vantajoso. Estes conceitos foram ilustrados na Figura 3.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712516/CA

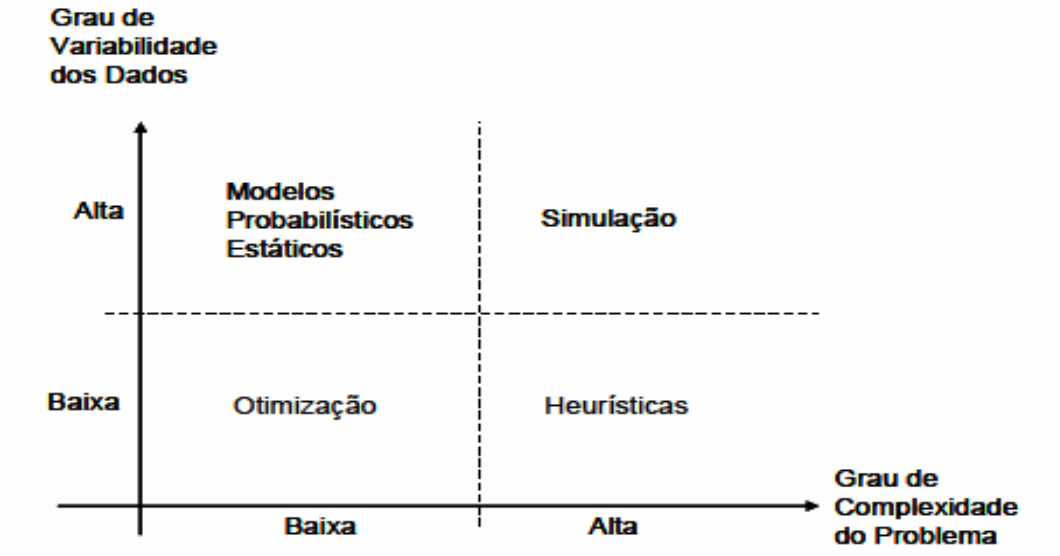

Figura 3: Adequação de diferentes técnicas de modelagem em relação à variabilidade e complexidade do modelo

Fonte: Wellington (2007)

O processo de carregamento e transporte pode ser classificado como um sistema complexo, probabilístico e dinâmico no qual a modelagem determinística não poderia representar os fenômenos de espera e os modelos de filas não permitiriam capturar o regime continuamente transiente nem os sincronismos entre as atividades.

A construção do modelo de simulação pode tomar um tempo significativo, entretanto, uma vez construído, ele pode ser usado para simular períodos de tempo arbitrários num tempo de simulação pequeno, viabilizando um grande número de experimentos; assim, mesmo diferentes políticas de condução do sistema podem ser comparadas, além disso, um modelo de simulação pode ser replicado quantas vezes forem necessárias para garantir uma tomada de decisão mais segura e baseada em resultados confiáveis, Pidd (1992).

3.3. Classificação do tipo de modelo de simulação

Segundo Law e Kelton (1991), Shut (2007) e Gavira (2003) *apud* Wellington (2007), podem-se dividir os modelos de simulação do mesmo modo que se dividem os modelos em geral, como se mostra na Figura 4.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712516/CA

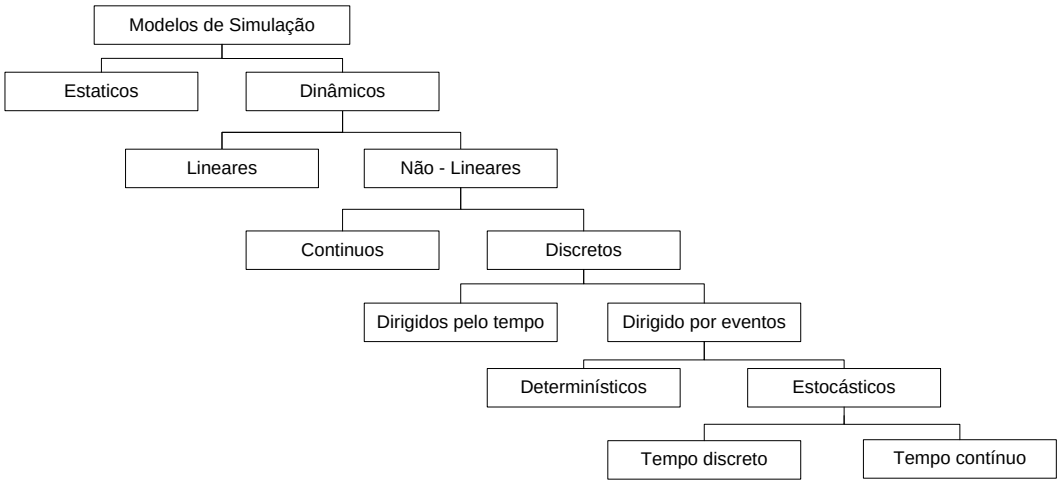

Figura 4: Classificação do modelo de simulação

Fonte: Castro (2006)

O modelo a ser desenvolvido na presente dissertação é classificado como um modelo dinâmico, uma vez que as variáveis de estado se modificam na medida em que o tempo evolui, é probabilístico porque o comportamento das variáveis pode ser descrito em termos de probabilidade, e finalmente pode ser classificado como um modelo discreto, dado que as mudanças de estado ocorrem em tempos discretos no tempo e não de forma contínua.

3.4. Método de condução do Modelo de Simulação

A metodologia a ser empregada na presente dissertação seguirá a metodologia desenvolvida por Law e Kelton (1991) utilizada para gerenciar etapas de um trabalho de simulação computacional. A Figura 5 ilustra a seqüência de etapas a serem consideradas. Em seguida, uma breve explicação de cada etapa.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712516/CA

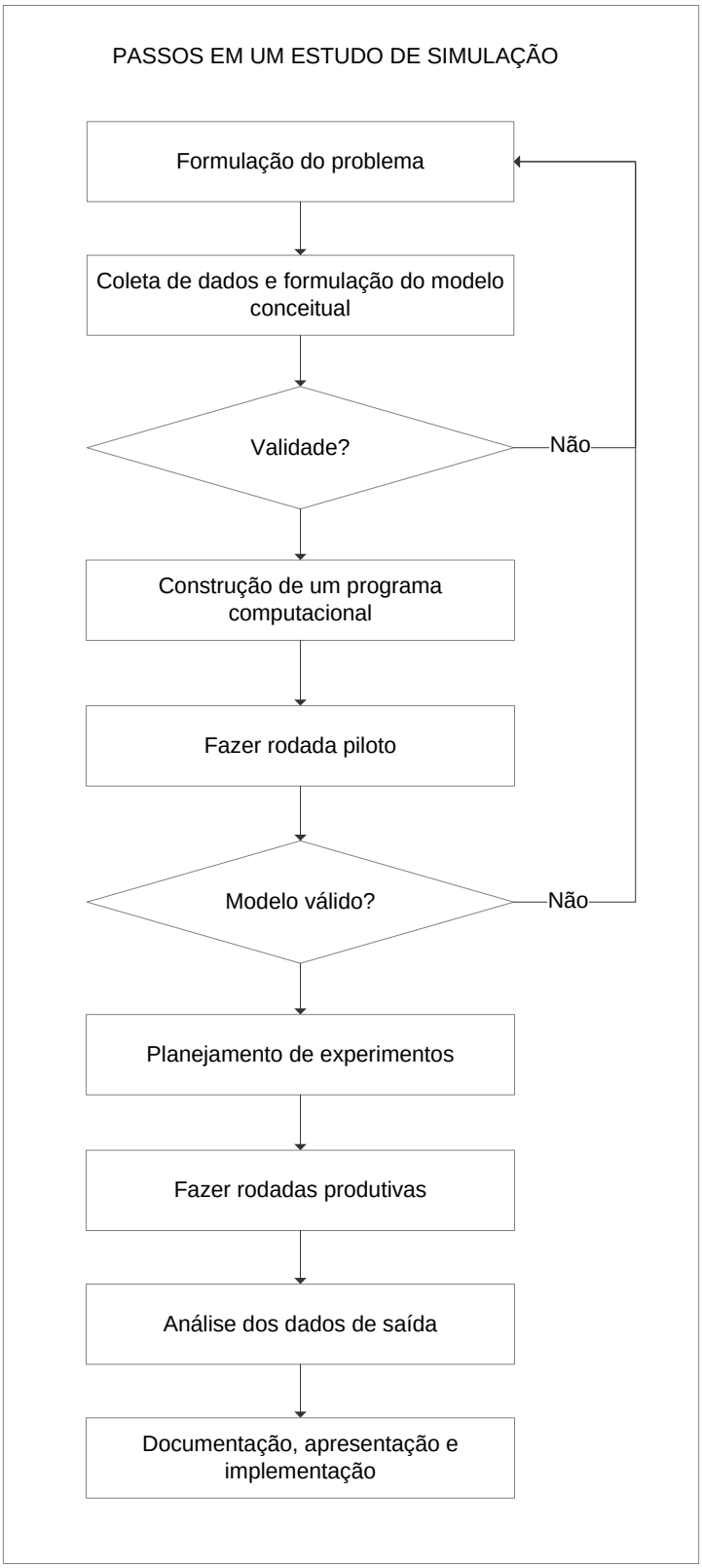

Figura 5: Passos num estudo de simulação
Fonte: Law e Kelton (1991)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712516/CA

• Formulação do problema e planejamento do estudo: nesta etapa se definem o objetivo principal do estudo, as alternativas a serem testadas e os pressupostos a serem adotados;

• Coleta de dados e formulação do modelo conceitual: as informações e os dados de interesse devem ser coletados e as distribuições de probabilidade para as variáveis a serem utilizadas no modelo devem ser definidas;

• Validação: é necessário que o usuário interaja com as pessoas que conhecem o processo intimamente para verificar se o seu modelo é válido em termos conceituais e nos dados coletados;

• Construção de um programa computacional e verificação: nesta etapa deve-se escolher um software e transformar o modelo teórico em um modelo computacional. A escolha do software dependerá das características que se deseja dele. Depois de o programa estar pronto, devem-se aplicar técnicas de verificação, para checar se há erros na lógica e sintaxe;

• Replicação piloto: rodadas piloto serão necessárias para validar o programa na fase seguinte;

• Validação: a validação é adotada para atestar se as rodadas piloto têm como saída informações que refletem o sistema real;

• Planejamento do experimento: devido a que a simulação tem uma natureza estocástica e apenas estima o comportamento do sistema para determinados parâmetros, é necessário planejar o experimento definitivo. É importante salientar a importância da definição do período de tempo para que os parâmetros estejam em condições apropriadas para simulação naquele instante. Esse período é conhecido como aquecimento, e seus resultados são desprezados;

• Fazer rodadas produtivas: considerando se os parâmetros preestabelecidos fazem-se as rodadas para levantamento dos resultados dos cenários escolhidos;

• Análise dos dados de saída, técnicas estatísticas devem ser utilizadas para analisar os dados de saída;

• Documentação, apresentação e implementação.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712516/CA

3.5. Ferramenta computacional de simulação adotada

São diferentes os softwares desenvolvidos para simular as operações em minas subterrâneas e a céu aberto. Sturgul (2001) faz uma abordagem superficial sobre aplicações de simulação e animação na mineração. Neste trabalho, ele cita a existência de algumas linguagens de simulação de sistemas tais como: SIMAN, CINEMA e ARENA, GPSS/H e PROOF ANIMATION, SLAMSYSTEM, MODSIM III/ SIMFACTORY/ SIMPROCESS e WITNESS, como as mais usadas para simular os processos dentro das minas.

Para realizar a tradução do Modelo adotou-se a ferramenta computacional Arena. Este software foi desenvolvido pela empresa *Systems Modeling,* em 1993, como sucessor do SIMAN e CINEMA, que foram desenvolvidos em 1982 e 1984 respectivamente. O SIMAN é uma evolução do GPSS, lançado pela IBM em 1961, e o CINEMA foi o primeiro software de animação para PC's (Castro, 2006).

O Arena é um sistema de simulação para eventos discretos, que contém todos os recursos para modelagem, animação, análise estatística e análise dos resultados, permitindo assim realizar um estudo do cenário operacional, focando os processos existentes no sistema em estudo.

O processo da modelagem no Arena resulta ser muito simples, consiste em explicar como funciona o sistema através de uma linguagem de fácil entendimento, semelhante a um fluxograma. O Arena usa a abordagem por processos para a execução da simulação; esta técnica de simulação pode ser considerada como uma situação em que elementos estatísticos, formando um ambiente bem definido com suas regras e propriedades interagem como elementos dinâmicos, que fluem dentro desse ambiente.

No presente modelo, seria o caso dos caminhões (elementos dinâmicos), interagindo com escavadeiras, britadores, pilhas de material estéril e outros (elementos estáticos), que formam o ambiente da mina.

Os principais elementos de um modelo de simulação em Arena são, Segundo Law e Kelton (1991):

• Entidades: são os objetos dinâmicos da simulação. Elementos que circulam pelo sistema, interagindo com sua estrutura e seguindo as regras estabelecidas pelo modelo. Entidades podem representar elementos físicos reais

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712516/CA

do sistema, como pessoas, carros, ou serem usadas para funções lógicas de comportamento, sem representarem um elemento físico existente no sistema.

• Recursos: as entidades competem entre si pelo serviço dos recursos, que representam elementos do sistema com capacidade restrita, como pessoal de atendimento, equipamentos, espaço de estocagem limitado, instalações de carga/descarga, pátios de ultrapassagem ferroviários. Podem ser considerados como elementos estáticos do sistema.

• Filas: quando não conseguem avançar devido a restrições de falta de capacidade em recursos, ou condição do sistema, as entidades ficam ordenadas em filas. As filas podem ter regras de ordenação como "último que entra, primeiro que sai" (também chamado de pilha, ou LIFO), "primeiro que entra, primeiro que sai" (também chamado de FIFO), ou ordenado por atributos da entidade.

• Atributos: são informações referentes às entidades, que as diferenciam ou não das demais. Informações como peso, tipo, cor e valor podem ser representados como atributos.

• Variáveis: são estruturas que guardam informações globais sobre sistema. As variáveis podem ser usadas para registrar a quantidade de entidades dentro do sistema ou o estado de um determinado elemento do sistema (como por exemplo, indisponibilidade de uma instalação devido ao horário de atendimento). As variáveis também podem ser usadas como vetores ou matrizes, armazenando grandes quantidades de informações que podem estar relacionadas.

Como a maioria das ferramentas computacionais de simulação de eventos discretos, o Arena, segundo Freitas (2008), faz uso da geração de números aleatórios pelo método de Monte Carlo, a partir de uma distribuição matemática que define as probabilidades de ocorrência de cada valor ou faixa de valores; esse método realiza o sorteio do valor a ser usado na simulação.

3.6. Estudo de caso

O estudo de caso está baseado em dados de uma mina real de médio porte em fase de projeto que, por motivos de confidencialidade, passará a ser denominada como mina virtual. A amostra seguiu a classificação dada por Vergara (2005) e foi selecionada pelo critério de acessibilidade.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712516/CA

3.7. Coleta de dados

Segundo Freitas (2008), na maioria dos problemas envolvendo simulação de sistemas, a coleta de dados é uma tarefa difícil e demorada. Em geral, há duas situações possíveis: a existência ou a possibilidade de obtenção de dados e a não existência e impossibilidade de obtenção de dados.

A grande maioria das vezes enquadra-se no primeiro caso, temos modelos baseados em sistemas reais e no segundo caso se encontram aqueles modelos de sistemas que ainda não existem, o que é o caso do presente modelo a ser desenvolvido. Como o sistema a ser modelado ainda está em fase de projeto, a fase de coleta de dados sobre o funcionamento geral da mineração foi realizada através de uma pesquisa de campo. Segundo Vergara (2005), uma pesquisa de campo é realizada com entrevistas com as pessoas diretamente envolvidas no funcionamento do processo de produção. Foram realizadas algumas entrevistas com pessoas com conhecimentos das operações de lavra em mina, buscando-se informações tanto sobre aspectos de caráter operacional quanto de caráter estratégico.

Em relação a certos fatores de produção próprios do processo de carregamento e transporte, como tempos de ciclo, características dos equipamentos, tempos de manutenção, indicadores de desempenho, foram utilizados dados do sistema de despacho de um centro de mineração com características similares à mina a ser simulada, dado que normalmente as mineradoras que possuem sistemas de despacho mantêm bancos de dados bastante detalhados a respeito destes parâmetros (Pinto, 1999).

3.8. Processamento

O processo de tratamento dos dados foi realizado de forma quantitativa, isto é, para a análise dos dados de entrada e o ajuste e seleção das distribuições de probabilidade de cada variável foram utilizados o software Microsoft Excel e o *Input Analyzer* que acompanha o software Arena 12. Os resultados foram processados através do *Output Analyzer*, programa interativo também do software Arena que ajuda na análise dos dados gerados a partir dos modelos de simulação.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712516/CA

3.9. Limitações do modelo

O modelo a ser desenvolvido para simular o processo de carregamento e transporte será uma representação simplificada do funcionamento de um centro de mineração a céu aberto de médio porte em fase de projeto que utilizará um sistema de despacho para alocação dos caminhões. O funcionamento do sistema de despacho esta baseado em algoritmos otimizadores e lógicas complexas própias que funcionam em tempo real para controlar o processo de lavra.

Como todo método tem possibilidades e limitações, nesta dissertação as limitações são que o funcionamento do sistema de despacho não será representado diretamente no modelo, mas certas decisões de lógica adotadas de regras heurísticas permitirão que o modelo seja capaz de representar corretamente e de forma simplificada o funcionamento do sistema.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0712516/CA