

## 4 Metodologia de Pesquisa

As metodologias de pesquisa mais utilizadas em engenharia de produção são do tipo *survey*, modelamento e simulação, pesquisa-ação e estudo de caso (Miguel, 2007). O tipo de pesquisa envolvida na metodologia de pesquisa, dentre várias formas, pode ser classificada como quantitativa ou qualitativa, embora elas não sejam muito diferentes quanto à forma e ênfase (Neves, 1996). Alguns estudos, como Godoy (1995), enumeram um conjunto de características típicas de pesquisas qualitativas, tais como: o caráter descritivo e o ambiente natural como fonte direta de dados. Já as pesquisas do tipo quantitativas A investigação quantitativa atua em níveis de realidade e tem como objetivo trazer à luz dados, indicadores e tendências observáveis (Serapioni, 2000). Portanto, o presente trabalho pode ser considerado como um processo de modelamento e simulação de uma pesquisa do tipo quantitativa.

O *software* utilizado para a realização da simulação foi o ProModel, que será detalhadamente descrito no subitem 4.2.2.1.

Antes da realização de uma simulação, se faz necessária a modelagem do problema a ser estudado. Para a realização dessa modelagem, primeiramente é necessário estudar o comportamento das chegadas e partidas de aeronaves no aeroporto. Para isso, o *link* “Voos Online” do *site* da INFRAERO foi monitorado em um intervalo de treze dias ininterruptos para a coleta de informações sobre o horário previsto de chegada/partida dos aviões e o horário em que esses movimentos foram efetivamente finalizados, como será descrito com mais detalhes no subitem 5.1. Uma análise exploratória será realizada nos dados obtidos com o objetivo de validá-los antes de empregá-los no processo de simulação.

Será executado, primeiramente, um modelo representativo das condições atuais em que se encontra o Aeroporto Internacional, a fim de avaliar o nível de serviço atualmente prestado; o mesmo modelo será expandido para estimar o comportamento dos pousos e decolagens no Galeão e para definir o ponto de saturação do aeroporto.

## 4.1 Teoria das Filas

Devido a aleatoriedade das demandas e execuções dos serviços de um sistema, formam-se filas. No exemplo do nosso estudo, por falta de portões livres nos terminais de destino, os aviões são obrigados a se dirigirem ao estacionamento. A Teoria das Filas é o estudo matemático desse fenômeno.

Segundo Miyagi (2006) as principais características de um sistema de filas são:

- Os elementos que desejam um serviço;
- A natureza das chegadas dos elementos para execução dos serviços;
- A natureza dos serviços a serem realizados;
- A capacidade do sistema;
- A disciplina da fila.

No nosso estudo os elementos ou entidades que requerem o serviço são os Aviões que devem chegar ao sistema, se dirigirem ao Terminal de Passageiros de destino e depois aguardar no Estacionamento até que sua saída seja requisitada.

O comportamento das chegadas dessas entidades foi estimado com base em dados reais de movimentação aérea no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro coletados no *site* da INFRAERO, durante o período de 28 de Janeiro de 2010 à 9 de Fevereiro de 2010<sup>3</sup>. O Capítulo 6 apresenta o procedimento que valida tal comportamento.

Os processos pelos quais um avião passa ao aterrissar em um aeroporto envolvem vários serviços diferentes, como abastecimento da aeronave, troca de tripulação, além do embarque e desembarque de passageiros. Porém como esse estudo visa avaliar somente os movimentos aéreos, será considerado como serviço somente o desembarque e embarque de passageiros. No caso deste modelo de

---

<sup>3</sup> O procedimento para verificação do comportamento de chegada das entidades é descrito no subitem 6.1.

simulação, o serviço é identificado por um Avião passando pelo Terminal de Passageiros e Embarque, descrito com mais detalhes no Capítulo 6..

A capacidade do sistema é dada pelo número de portões nos terminais e o número de vagas disponíveis no pátio de aeronaves do Aeroporto do Galeão conforme dados dispostos na Tabela 2.

O comportamento da fila será sempre FIFO (*First In First Out*), ou seja, o primeiro avião a chegar ao sistema será o primeiro a ser atendido quando houver vagas disponíveis.

## 4.2 Simulação

*“A Simulação pode ser definida como uma técnica que imita a operação de um sistema real conforme ele evolui no tempo.” [Winston, 1993]*

Quanto maior o nível de complexidade de um sistema real, maior a necessidade de simplificações nas suposições do modelo que o representa, o que acarreta em soluções, muitas vezes, inferiores ou de implementação inadequada.

Realizar modificações de infraestrutura sem qualquer garantia de que essas possam oferecer algum tipo de retorno, seja ele financeiro ou na qualidade do atendimento, certamente é um aspecto a ser evitado pelos tomadores de decisão de uma empresa.

A possibilidade de observar as conseqüências de mudanças em um determinado cenário sem a necessidade de alterá-lo efetivamente é o principal fator a favor do uso da simulação. Além disso, também é possível visualizar essas conseqüências em um intervalo de tempo extremamente inferior ao que seria observado caso as alterações fossem feitas no cenário real.

Dessa forma, a simulação têm se tornado uma técnica de gerência bastante utilizada em análises de sistemas mais complexos.

O processo de simulação envolve a elaboração de um modelo que represente, da forma mais fiel possível, a realidade a ser estudada. Geralmente executado em ambiente computacional com o auxílio de *softwares* disponíveis no mercado, a simulação gera amostras representativas do modelo estabelecido, e é através da análise dessas amostras que é possível avaliar o desempenho do sistema em estudo. Com base nessa última afirmação, fica clara a importância do número de execuções de um mesmo modelo de simulação, pois quanto maior o número de amostras geradas, mais precisas serão as estimativas das variáveis de interesse.

É importante destacar que fatores, como as condições em que começa a simulação, a amplitude do período de execução, e a precisão do próprio modelo, também interferem na qualidade da estimação. Alguns *softwares* de simulação, tal como o que será utilizado no desenvolvimento do presente estudo, dispõem de ferramentas que minimizam o impacto desses fatores.

As vantagens do uso da simulação são:

- Os métodos de simulação são mais fáceis de aplicar do que métodos analíticos;
- Enquanto os modelos analíticos requerem muitas simplificações, a simulação tem poucas restrições, o que permite maior flexibilidade ao representar o sistema real;
- Uma vez que o modelo foi construído ele pode ser utilizado para analisar diferentes políticas, parâmetros ou desenhos<sup>4</sup>;
- Com o auxílio de dados reais é possível estimar parâmetros fundamentais para que o modelo de simulação seja o mais próximo possível da realidade.

As desvantagens do uso da simulação são:

- A simulação não é uma técnica de otimização;

---

<sup>4</sup> Se uma empresa tem um modelo pronto de simulação ela pode simular diferentes variações em suas políticas ou estrutura física ao invés de arriscar a experiência no sistema real.

- A otimização no processo de simulação é possível, mas normalmente requer muito tempo;
- Uma simulação também pode ser muito dispendiosa; entretanto, com o avanço das linguagens de simulação, com a queda dos custos computacionais, e com o avanço das metodologias de simulação, o problema do custo tem se tornado menos importante.

#### 4.2.1 Tipos de Simulação

A simulação pode ser classificada segundo o comportamento de suas variáveis como:

Discretas – As variáveis envolvidas no sistema assumem valores discretos ao longo do tempo, como, por exemplo, variáveis que controlam o estoque de um determinado produto;

Contínuas – As variáveis envolvidas no sistema assumem valores contínuos, e geralmente as mudanças dessas variáveis são descritas no modelo por sistemas de equações diferenciais;

Híbridas – As variáveis envolvidas no sistema assumem tanto valores discretos quanto contínuos ao longo do período de simulação.

#### 4.2.2 Linguagens de Simulação

As linguagens de simulação possuem recursos para simplificar a tarefa do analista, de forma que a parte da programação em si consuma um menor tempo no decorrer do projeto, liberando o mesmo para maior dedicação à modelagem do problema estudado.

Como exemplo de linguagens de simulação tem-se a SIMSCRIPT – *Simulation Script*, a ECSL – *Extended Control and Simulation Language*, GPSS – *General Purpose Simulation Systems*, e o SIMAN - *Simulation Management*;

sendo a primeira orientada a eventos, a segunda, a atividades e as demais a processos.

Existem ainda os *softwares* de simulação que consistem em pacotes computacionais que requerem ainda menos tempo para programação; dentre eles destacam-se: ARENA, Automod, ProModel e Extend.

#### 4.2.2.1 ProModel

O ProModel foi utilizado para o desenvolvimento do presente estudo por disponibilizar recursos presentes nos demais *softwares* de simulação, por possuir uma interface amigável que facilita a modelagem do sistema estudado e análise dos resultados obtidos, e por estar disponível para uso no DEI/PUC-Rio.

O curso de treinamento na utilização do ProModel abrange um total de 48h com desenvolvimento de exercícios que exploram cada funcionalidade do *software*. Neste tópico serão apontados unicamente os passos necessários para o entendimento de como o trabalho foi desenvolvido.

A Figura 2 a seguir apresenta a tela inicial do ProModel<sup>5</sup> em português.

---

<sup>5</sup> Versão 7.0.0.191 ProModel Runtime Silver

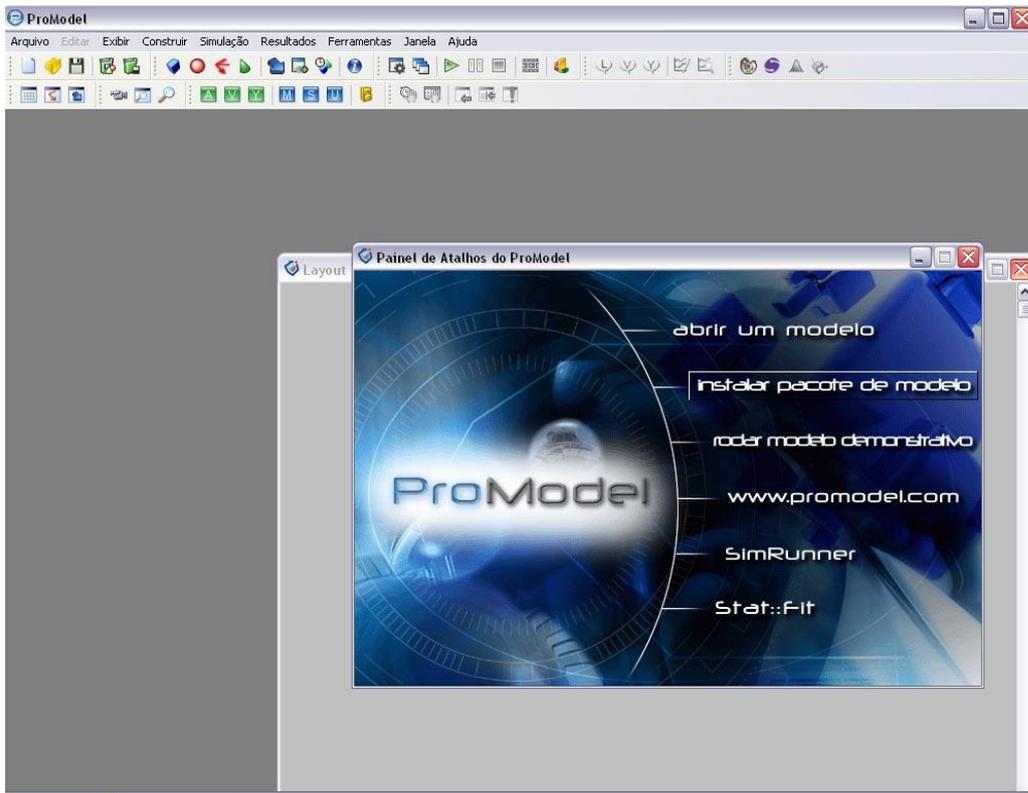


Figura 2: Tela inicial do ProModel

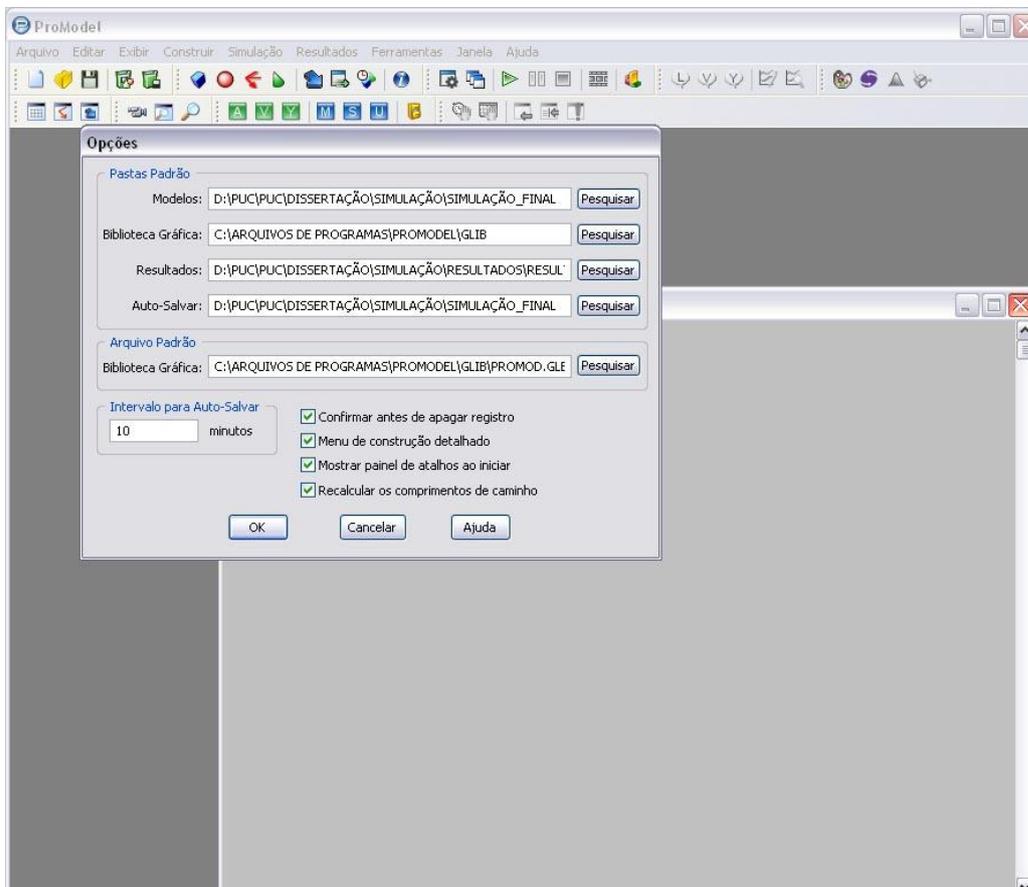


Figura 3: Opções do Software

A barra de ferramentas do *software* ProModel é bastante completa e de fácil entendimento. O *software* tem uma biblioteca gráfica (GLIB) que atende às necessidades do trabalho desenvolvido, que pode ser vista na Figura 3.

Antes de iniciar a construção do modelo deve-se atentar para algumas configurações do *software*. Abrindo o menu “Ferramentas > Opções” tem-se a janela, observada na Figura 3, em que pode ser configurado onde o modelo será arquivado, a biblioteca gráfica utilizada<sup>6</sup>, bem como a pasta de destino dos resultados do *software* e o local onde ficará o arquivo salvo automaticamente em um intervalo que também pode ser definido pelo usuário nessa etapa.

A definição do intervalo para Auto-Salvar é bastante importante visto que o processo de modelagem é bastante dispendioso e até mesmo uma pequena queda de energia poderia acarretar a perda de horas de trabalho.

---

<sup>6</sup> O *software* vem com uma biblioteca gráfica que atende as necessidades do trabalho desenvolvido, a GLIB como pode ser vista na Figura 3.

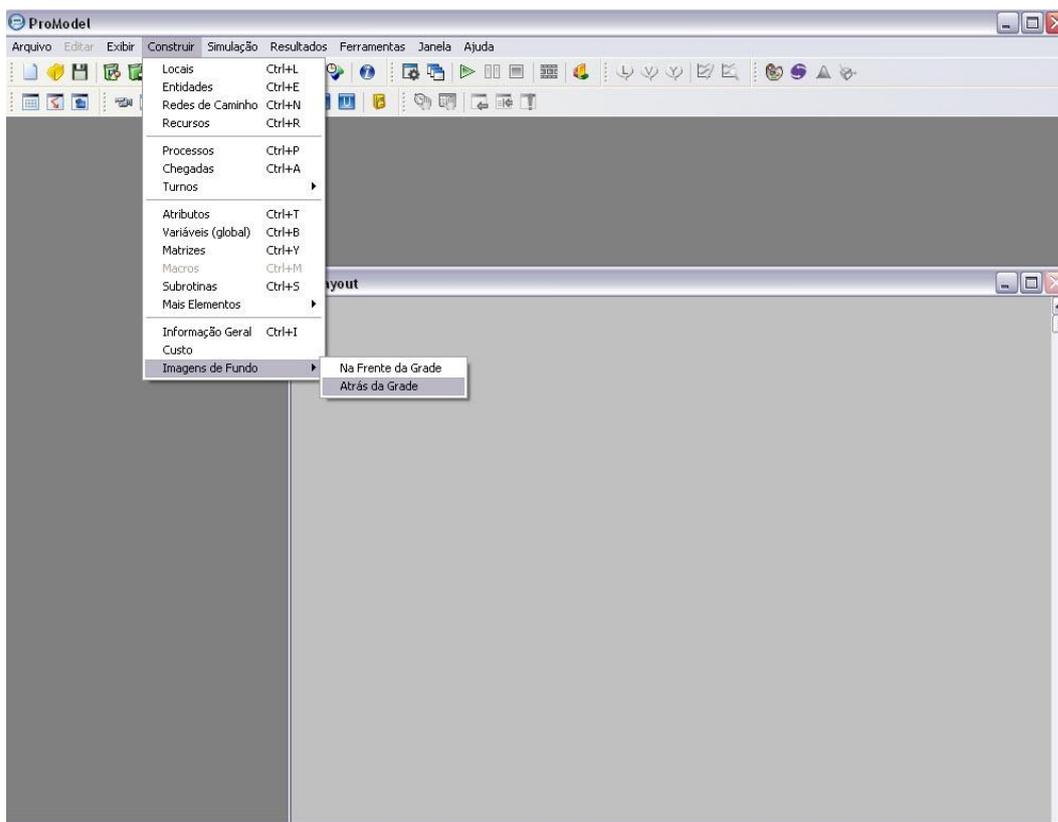


Figura 4: Menu Construir

Como pode ser observado na Figura 4, é através do menu Construir que são definidos os Locais, Entidades, Redes de Caminho, Recursos, e demais parâmetros necessários ao modelo. O *software* permite, inclusive, utilizar imagens gráficas para facilitar a visualização do sistema modelado. No menu “Construir > Imagens de Fundo > Atrás da Grade”, pode-se fazer uso das bibliotecas gráficas disponíveis, ou até mesmo criadas pelo usuário, para desenhar a planta do sistema a ser estudado. No caso, foi utilizada uma imagem do aeroporto do Galeão obtida através do Google Maps como pode ser observado na Figura 5.

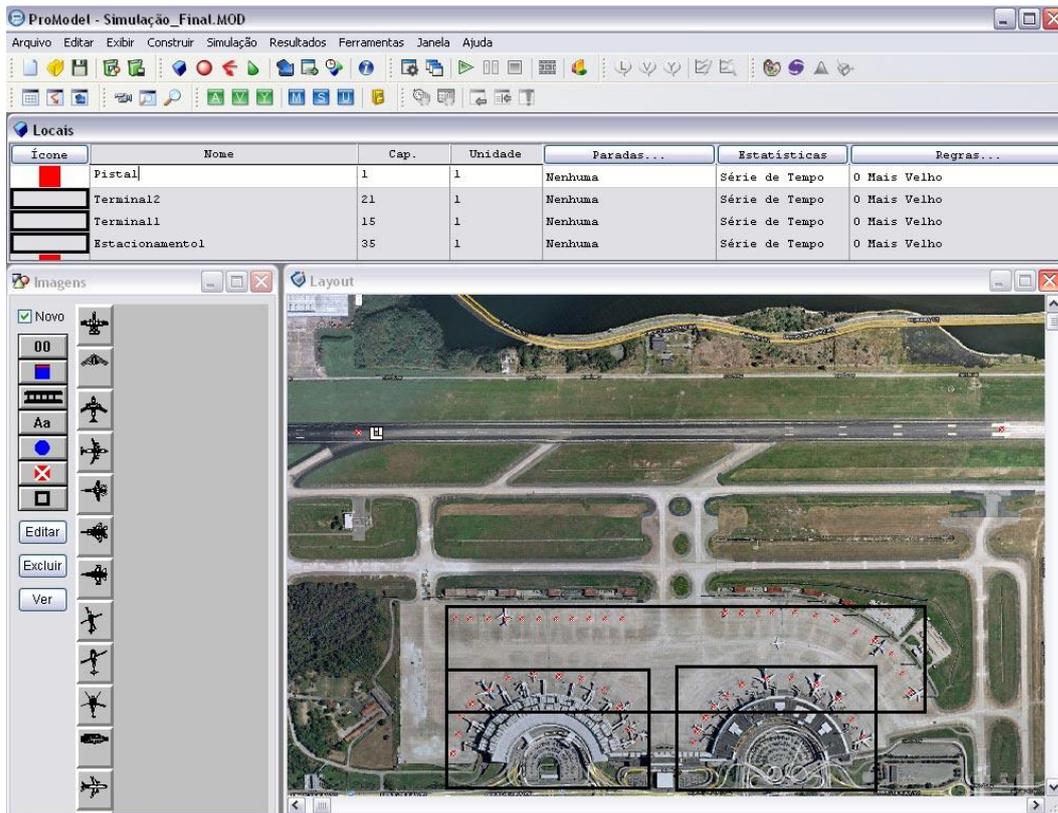


Figura 5: Definindo os Locais

Os Locais são as áreas fixas do sistema onde são executados os processos, no caso, a Pista de pouso e aterrissagem, Terminais, Estacionamento. Na etapa representada pela Figura 5 são definidas as características dos locais como: capacidade, unidades (se simples ou múltipla), Paradas (*setup* de máquinas, por exemplo), detalhamento estatístico do local e regras de entrada e saída das Entidades no Local.

A próxima etapa para a construção de um modelo no ProModel é a definição das Entidades.

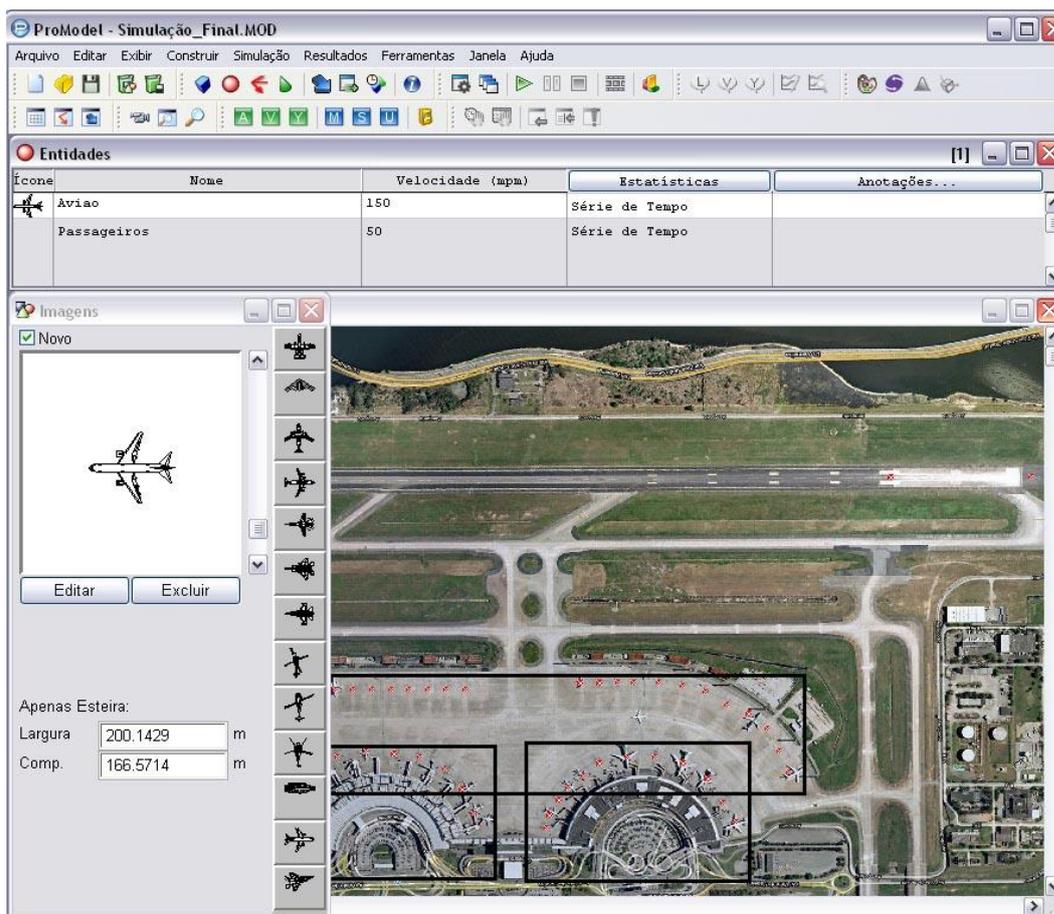


Figura 6: Definindo as Entidades

Entidades são os itens a serem processados pelo sistema, no caso, Aviões e Passageiros. Nessa etapa são definidas as características de cada entidade, como a velocidade, o nível de detalhamento estatístico e a imagem com que ela será representada no modelo quando este estiver sendo executado.

Após a construção de todos os Locais e Entidades do modelo é necessário criar as chegadas das entidades.

Para o nosso estudo em particular foram criados dois atributos, através do Menu “Construir > Atributos”. Esses atributos são aTerminal e aSentido, responsáveis por definir o Terminal de destino de cada voo e o sentido que ele está seguindo no sistema, como poderá ser visto no Capítulo 6.1.

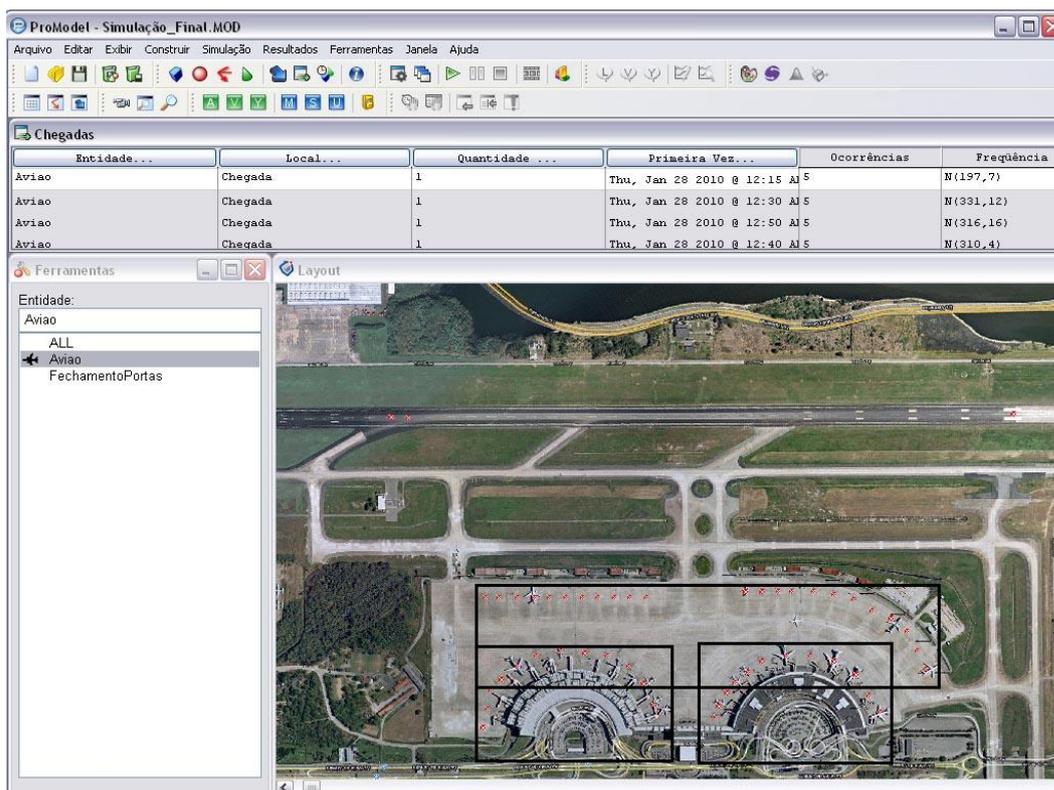


Figura 7: Definindo as Chegadas das Entidades

As Chegadas definem a entrada das Entidades no modelo. Nessa etapa é necessário especificar a Entidade que está chegando, o Local em que ela chega, a quantidade que entra simultaneamente no modelo, a primeira vez que a entrada ocorre, o número de ocorrências e a frequência da chegada.

É na coluna “Primeira Vez”, como pode ser visualizado na Figura 7, que é definido o ponto de partida de cada seqüência de Entidades que entram no sistema. A coluna “Ocorrências” indica o número total de Entidades que entram no sistema definido por essa linha de Chegada. Na coluna “Frequência” tem-se o intervalo de tempo entre a chegada de cada Entidade.

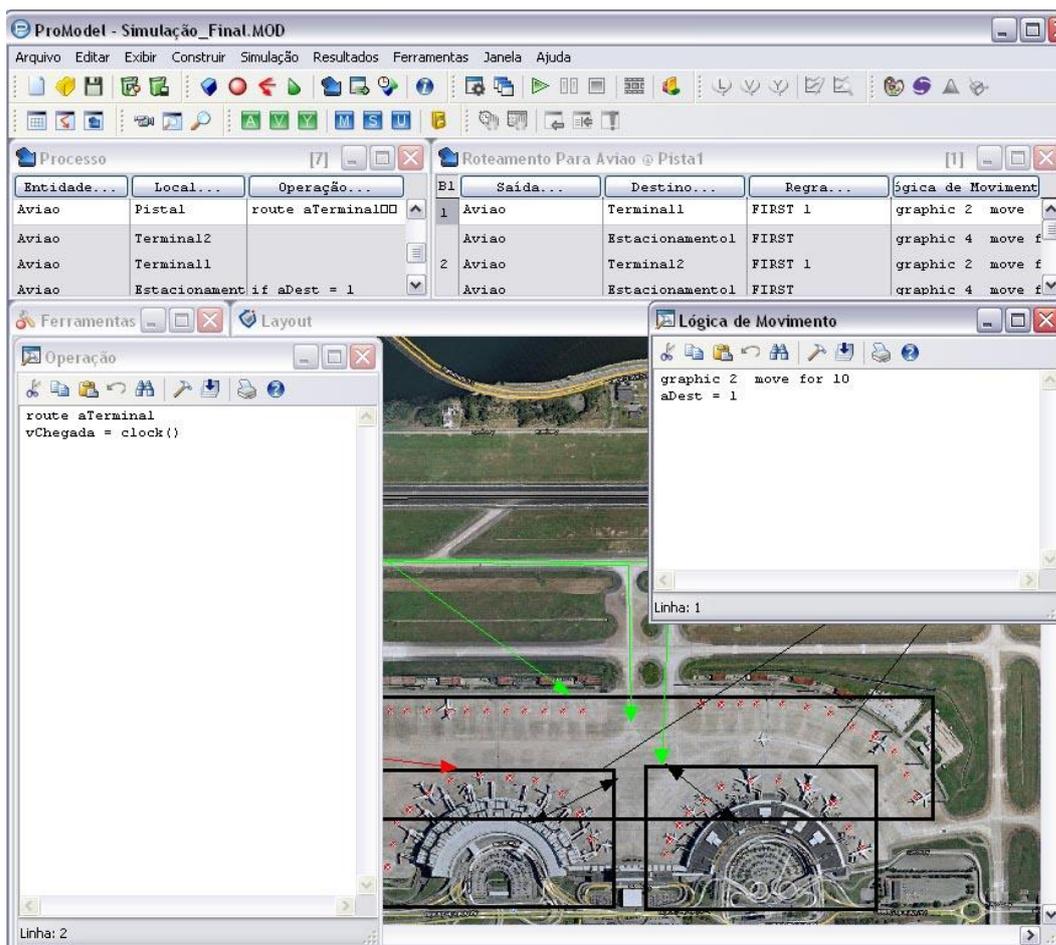


Figura 8: Definindo os Processos

Processos são as operações que cada Entidade sofrerá em cada Local. Para o nosso estudo, por exemplo, o Processo em que a entidade Avião se desloca para os Terminais é definida como a operação “*route aTerminal*”, que fará com que o Avião execute o roteamento 1 ou 2 conforme o atributo recebido no momento de sua chegada. Como pode ser observado na Figura 8, cada roteamento desse processo divide-se em 2: a primeira definição de roteamento direciona os aviões aos seus respectivos Terminais de Passageiros, e a segunda definição, que só será executada quando os Terminais não tiverem mais posições disponíveis, direciona o Avião para o Estacionamento do aeroporto.

Concluindo-se todas as etapas de modelagem deve-se definir a execução do modelo. Em “Simulação > Opções” temos a janela apresentada na Figura 9.

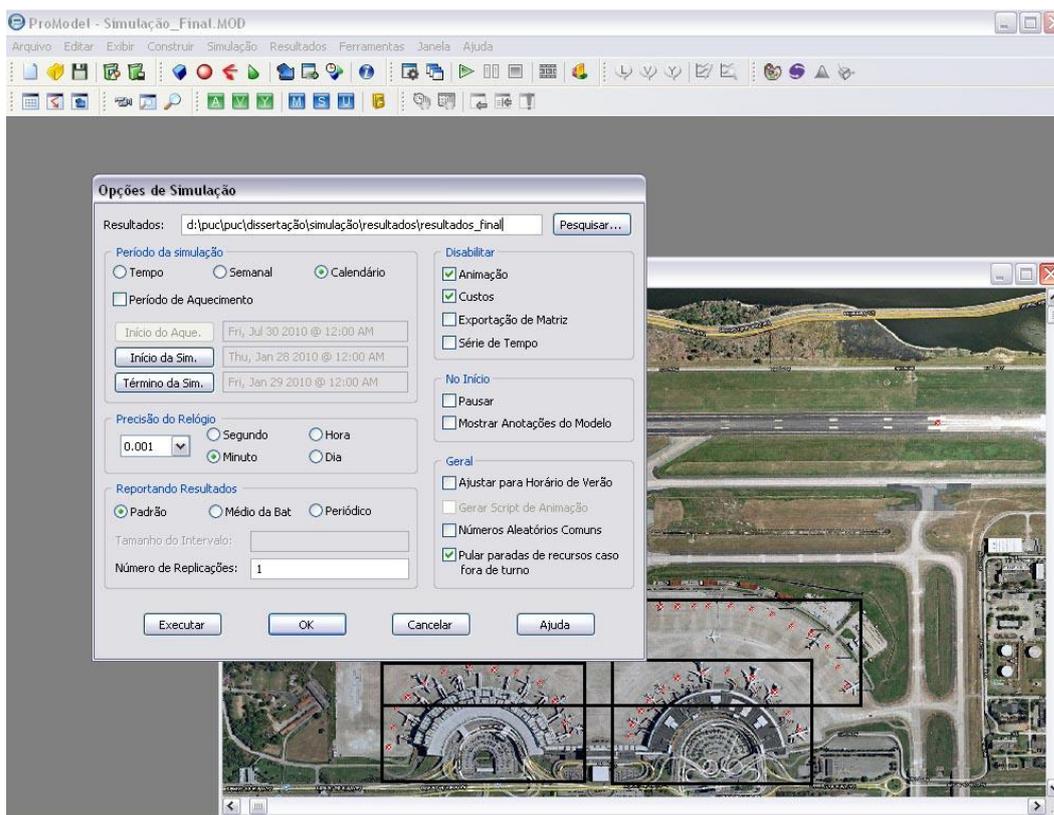


Figura 9: Configurando a Simulação

Nesta etapa, pode-se confirmar o destino em que os resultados da simulação serão arquivados, definir o período da simulação e a forma de execução (se por tempo corrido, semanal ou segundo calendário), definir a precisão do relógio do *software* e número de replicações.

Feitas todas as configurações necessárias basta clicar em “Executar” que o modelo será salvo e executado. Após a conclusão do *software* abre-se uma nova janela, em que podem- ser obtidos os resultados dos parâmetros modelados, bem como das variáveis utilizadas na definição dos Processos do sistema.

O ProModel permite ainda a criação de um arquivo texto<sup>7</sup> com o detalhamento de todo o processo de simulação.

<sup>7</sup> Vide Apêndice B

### 4.3 Análise Estatística em Simulação

O processo de simulação resulta em amostras representativas da realidade modelada e quanto maior o número de amostras geradas, mais precisos são os resultados da simulação.

A Análise Estatística em simulação é realizada para trabalhar conjuntamente esses resultados, obtendo uma representação mais precisa possível da realidade estudada.

Devido ao uso de variáveis aleatórias na criação do modelo, sabe-se que os resultados obtidos apresentarão certa variabilidade, ou seja, cada nova iteração do modelo apresentará resultado diferente da anterior. Por isso, tão importante quanto determinar a estimativa para o parâmetro de interesse é determinar a precisão dessa estimativa. Essa precisão é medida através do cálculo do desvio-padrão das amostras e a variação total da estimativa é dada por um intervalo calculado a um determinado nível de confiança  $\alpha$ . O propósito da análise estatística na simulação é justamente calcular esse intervalo de confiança.

A determinação do intervalo de confiança de uma simulação é complicada visto que os resultados obtidos geralmente são dependentes entre si (autocorrelacionados). Isso significa que os métodos clássicos da estatística não são aplicáveis aos resultados de uma simulação. É necessária uma modificação nas análises estatísticas para fazer inferências apropriadas aos dados da simulação. [Winston, 1993]

Outro problema já mencionado anteriormente está relacionado ao estado em que a simulação começa, pois as observações coletadas no início da simulação dependerão fortemente das condições iniciais do sistema no tempo 0 (zero). Esse período antes da simulação alcançar o '*steady-state*' é também conhecido como período de aquecimento (*warmup period*).

Há duas formas possíveis de evitar esse problema do período de aquecimento.

A primeira é utilizar uma série de condições iniciais que representem o sistema em seu '*steady-state*', porém em muitas simulações pode ser difícil definir essas condições iniciais; a técnica alternativa seria deixar a simulação rodar por certo período de tempo e descartar os dados iniciais durante a análise. Desta forma, é possível reduzir o desvio causado pelos dados iniciais [Winston, 1993].

Há várias formas de calcular o período de aquecimento ideal que varia conforme o modelo estudado. O *software* a ser utilizado nesse trabalho possui algumas ferramentas que auxiliam tanto na hora de calcular o período ideal de *warmup* quanto o número adequado de iterações para o modelo.