

4 Metodologia

A metodologia adotada para a concepção do Sistema de Gestão de Logística de Transporte de Gás Natural por Gasodutos considerou as seguintes atividades:

- a. Modelagem da Malha do Gasbol: envolve a modelagem dos dutos, equipamentos, acessórios, perfil de elevação do terreno ao longo da faixa do gasoduto, equações de escoamento de gás, temperatura do solo e ambiente e outras características pertinentes. A modelagem é a base para a execução das simulações termohidráulicas de escoamento de gás em regimes permanente e transiente. Pelas simulações pode-se prever o comportamento operacional da malha de gasodutos sob determinadas condições denominadas cenários;
- b. Simulação Monte Carlo de Falhas de Equipamentos: consiste da modelagem dos componentes principais da malha do gasoduto com suas respectivas taxas de falha (ou disponibilidades individuais) utilizando planilha *Microsoft Excel* e software de simulação de risco *@Risk 4.5*. Inclui falhas de válvulas de bloqueio de gasoduto, pontos de recebimento e entrega de gás (*city-gates*) e estações de compressão. Apresenta como resultado a frequência de falhas de cada componente do sistema de transporte em diferentes níveis de redundância.
- c. Simulação Termohidráulica: avalia o comportamento operacional da malha de gasodutos (item a) sob diferentes cenários de falha e níveis de redundância (onde aplicável), utilizando-se do simulador termohidráulico *PipelineStudio* para regimes permanente e transiente. Seus resultados permitem identificar as capacidades de transporte para cada cenário de falha. Os valores de capacidade, juntamente com as frequências obtidas da simulação Monte Carlo (item b), compõem a tabela de frequências de falhas e capacidades de transporte como apresentada na figura 1;

- d. Estudo de Disponibilidade do Sistema: faz uso dos resultados das frequências de falhas dos equipamentos (item b) e das conseqüentes capacidades de transporte da malha de gasodutos obtidas através das simulações termohidráulicas (item c) para diferentes níveis de redundância. Os investimentos necessários à redundância (equipamentos reservas) são identificados para possibilitar o estudo de viabilidade econômica que definirá o nível de redundância mais apropriado ao sistema;
- e. Estudo de Viabilidade Econômica: incorpora todas as informações obtidas nas fases anteriores (itens a até d) e faz uso de planilha *Microsoft Excel* e software de simulação de risco *@Risk 4.5*. Considera premissas econômicas como taxa de retorno, vida econômica do projeto, exposição a perdas de receita e multas contratuais por entregas parciais de volumes de gás. Também se utiliza de simulação Monte Carlo incorporando distribuição estatística das capacidades de transporte (item c) decorrentes das falhas de equipamentos (item b). O estudo econômico é que suportará a tomada de decisão quanto ao nível ótimo de redundância a ser adotado para a malha de gasodutos;
- f. Programação Linear: consiste da modelagem de um sistema de equações utilizando técnicas de otimização com função objetivo de maximização e minimização. A função de minimização permite definir os volumes de gás que serão efetivamente entregues em cada ponto de entrega de gás num dado dia de operação do gasoduto minimizando os efeitos decorrentes de redução imprevista de fornecimento de gás ou de restrições de capacidade de transporte, selecionando os pontos de entrega que serão atendidos plenamente e aqueles que serão reduzidos ou mesmo cortados, segundo critérios pré-estabelecidos. A função de maximização permite otimizar o processo de alocação do suprimento de gás disponível ao Distribuidor pelo Carregador. Leva em conta as restrições contratuais, de preços do gás e os volumes requisitados pelo Distribuidor para um dado dia de operação. Utilizou-se a modelagem do sistema em planilha *Microsoft Excel* e seu otimizador *Solver*;

- g. Aplicação Scenario Builder: consiste de módulo de integração de todas as diferentes tecnologias que compõem o SGLT (*APDM*, *ArcGIS*, *PipelineStudio*, Programação Linear e Planilha de Avaliação Econômica). Através desta aplicação tem-se acesso direto ao SIG e ao APDM e pode-se rodar cenários no *PipelineStudio*.

Os dados necessários à modelagem da malha do Gasbol (e.g. equipamentos, válvulas, diâmetros e extensões de dutos, rugosidade interna, perfil de elevação, etc.) foram obtidos diretamente dos desenhos de construção e montagem do Gasoduto Bolívia-Brasil – Gasbol. As informações de curva de desempenho dos compressores centrífugos e turbinas a gás foram obtidos dos testes de desempenho feitos nas instalações dos fabricantes por ocasião do processo de compra. Os volumes de entrega ao Distribuidor foram obtidos junto ao centro de supervisão operacional da malha de gasodutos da PETROBRAS. Todos os dados coletados fazem parte integrante dos modelos APDM, em ambiente ArcGIS, e do simulador termo-hidráulico do SGLT e constituem a base para todas as análises e simulações efetuadas para demonstrar as vantagens da adoção do SGLT.

Foi utilizado o simulador *Pipeline Studio* versão 3.0 da *Energy Solutions Inc.* para a realização de simulações de escoamento termo-hidráulico de gás natural em gasodutos, em regime permanente e transiente.

Foi aplicado o método Monte Carlo com a utilização do software *@Risk* 4.5 para avaliação da disponibilidade de estações de compressão do Gasoduto Bolívia-Brasil como exemplificado por Santos et al. (2006). Esse estudo demonstrou a metodologia para análise do nível economicamente adequado de redundância, via instalação de unidades compressoras reservas, para o sistema de transporte por gasodutos. Os dados de confiabilidade e disponibilidade para estações de compressão foram obtidos do relatório do *Electric Power Research Institute - EPRI* (1999) que levantou dados de 105 estações de compressão ao longo de 3 anos de operação, bem como do relatório do *North American Electric Reliability Council – NERC* (2005) para equipamentos com capacidades semelhantes aos utilizados na malha de gasodutos em análise. Para o caso das válvulas de bloqueio, pontos de entrega e ponto de recebimento de gás foi adotada a utilização de árvore de falhas para um único item e avaliou-se sua

disponibilidade para ser usada na simulação Monte Carlo de todo o conjunto (válvulas de bloqueio, pontos de entrega e pontos de recebimento).

Quanto à avaliação econômica em cenário de risco, Santos (2003) destaca a aplicação do método Monte Carlo para um projeto de estação de compressão com duas alternativas de implantação, sendo (i) uma de aluguel de serviço de compressão de uma empresa prestadora desse tipo de serviço e a outra (ii) a instalação e operação da estação de compressão pelo Transportador. Para tal avaliação, utilizou-se planilha Excel juntamente com o @Risk. Foi aplicado o critério de fluxo de caixa descontado – FCD com distribuições estatísticas para certas variáveis.

As condições contratuais de compra, transporte e venda de gás natural, notadamente aquelas relacionadas com penalidades por não cumprimento de obrigações, foram modeladas no sistema de programação linear utilizando o algoritmo simplex. Foram incorporadas a esse modelo as condições de escoamento de gás obtidas dos resultados das simulações termohidráulicas sob condições de falha de equipamentos e restrições operacionais. Deste modo os resultados obtidos do sistema de programação linear suportam decisões de maximização de comercialização ou de minimização de perdas decorrentes de circunstâncias restritivas de transporte ou de suprimento que causem a redução do recebimento e/ou de entrega de gás, mitigando seus efeitos negativos ao negócio do gás natural.