

## 2. Revisão Bibliográfica

A previsão dos processos relacionados ao problema de fornecimento de gás natural em pontos de entrega requer o conhecimento das equações que governam o escoamento e da modelagem específica dos equipamentos utilizados na instalação. Além disso, é necessário o levantamento das propriedades do gás natural através da solução de equações de estados, como a de Peng-Robinson e de Soave-Redlich-Kwong, largamente empregadas na indústria do petróleo e gás natural. Dessa forma, a presente revisão bibliográfica contempla trabalhos relacionados com a modelagem do problema.

Com relação a modelagem, pode-se mencionar o trabalho de Pratt (2001), que apresenta o cálculo de várias propriedades termodinâmicas envolvendo a equação de estado de Peng-Robinson, inclusive o cálculo diferencial dos calores específicos à pressão constante; a volume constante e o coeficiente Joule-Thomson. O coeficiente Joule-Thomson do gás define a taxa de variação de temperatura em função da pressão quando submetido a um processo isentálpico. Para a maioria dos gases, inclusive o gás natural, o coeficiente Joule-Thomson é positivo indicando que ocorre redução de temperatura quando o gás é submetido a uma redução brusca de pressão (processo isentálpico).

A utilização da lei de mistura de Van de Waals na equação de Peng-Robinson também se encontra ilustrada no trabalho de Cavalcanti e Rojas (2008).

As propriedades críticas de substância pura utilizadas no cálculo das propriedades de mistura do gás natural podem ser obtidas a partir da norma técnica NBR1513 da ABNT.

Uma vez que este tema é de alta importância para a indústria de gás natural, diversas patentes internacionais descrevendo o processo de redução de pressão com pré-aquecimento em linha foram depositadas. A malha de gasodutos do Brasil também tem sido muito estudada no meio acadêmico. Diversos trabalhos técnicos como de: Melo (2005), Henrique e Machado (2005), Santos e Bissaggio(2007) podem ser encontrados nas bases de dados do IBP (Instituto

Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis), sendo alguns destes descritos a seguir.

Melo (2005) apresenta informações relevantes sobre a expansão da malha de gasodutos no Brasil e da tendência do consumo para os próximos anos, apresentando uma simulação do impacto do crescimento na matriz energética baseada no gás natural, e calculando o potencial de redução de emissões de CO<sub>2</sub> associado à troca de combustíveis líquidos e sólidos por gás natural para indústrias próximas as estações de entrega existentes.

Henrique e Machado (2005) propuseram a aplicação de novos critérios para dimensionamentos dos aquecedores para pontos de entrega de gás. De acordo com critério atual o sistema de aquecimento deverá ser projetado de forma a garantir uma temperatura de entrega de 20°C em condições normais de operação (com 02 ou mais aquecedores), e de 5°C no caso de falha de um dos aquecedores. Segundo os autores o critério de projeto atual não considera as condições climáticas brasileiras que na maioria dos casos aumenta a capacidade térmica dos aquecedores e conseqüentemente o custo de projeto e operação das estações. O novo critério proposto considera as condições climáticas locais com levantamento do diagrama de fases da mistura (curva de formação de condensado e de hidrato) em cada região do Brasil para determinação da temperatura mínima de entrega do gás.

Santos e Bisaggio (2007) apresentaram uma metodologia de cálculo estatístico do consumo de gás nas estações de compressão e estações de entrega de gás do gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL). Neste estudo os autores informam que o consumo de gás combustível em sistemas de gasodutos com estações de compressão corresponde à cerca de 4 a 6 % do volume movimentado e sistemas sem compressão ficam abaixo de 1%. No entanto as contribuições das estações de entrega tendem a aumentar para os próximos anos.

Santos et al (2008) realizaram estudos de redução consumo do gás natural combustível nos pontos de entrega de gás. Os autores informam que o consumo nos pontos de entrega atuais pode ser reduzido adotando-se módulos de aquecimento com malha de controle associada que permita a associação alternada do sistema de aquecimento, ora em série, ora em paralelo de forma a otimizar a utilização dos aquecedores de acordo com a demanda.

Brito e Camargo (2010) fizeram uma avaliação da lógica de controle de temperatura do sistema de pré-aquecimento de uma estação de entrega de gás natural da Petrobrás utilizando simulador dinâmico AspenTech HYSYS. Eles analisaram o comportamento operacional de uma estação de entrega com e sem malha de controle de temperatura em cascata e concluíram que é desnecessária a implementação de uma lógica em cascata envolvendo a instalação de dois novos controladores PID com tomada de temperatura na saída de cada aquecedor indireto.

Durante a etapa de pesquisa bibliográfica verificou-se a falta de informações na literatura sobre o funcionamento operacional dos aquecedores de gás indiretos de banho de água ou de chama indireta e sobre sua lógica de controle de temperatura da água. Um algoritmo baseado no método Runge-Kutta de 4ª. ordem foi desenvolvido para formulação transiente do aquecedor. Nesta formulação considerou-se a influência da capacidade térmica da água, vazão de gás combustível e temperatura de controle da água. Esta formulação foi criada usando somente os dados disponíveis nas folhas de dados de projeto do aquecedor.

De acordo com o trabalho apresentado por (Rami et al, 2006) a resposta dinâmica real exercida pelo piloto automático de uma válvula reguladora de pressão é muito complexa e de difícil parametrização. É necessário o levantamento das curvas de atuação destas válvulas em bancada de testes para criação de um modelo matemático mais adequado ao estudo de transientes rápidos nas estações de entrega.

A criação de uma formulação transiente para o elemento duto possibilitaria avaliação do impacto da variação brusca do consumo de gás na tubulação conectada na saída da estação de entrega de gás natural, uma vez que a resposta da válvula reguladora de pressão é bastante influenciada pelas características da rede de distribuição como abordado por (Gato e Henriques, 2005).