

8 Programação linear

A programação linear considerou duas funções objetivo: (a) maximização da comercialização do gás e (b) minimização das perdas (receitas e multas contratuais).

Foram idealizados dois modelos, sendo o primeiro para maximização e o segundo para minimização, cada qual com sua função objetivo e seu conjunto de restrições, como apresentados a seguir. Ambos os modelos estão sujeitos a restrições de suprimento de gás disponível para o mercado, capacidade de transporte do gasoduto, capacidades mínima e máxima dos pontos de entrega de gás e, no caso de fornecimento para termelétricas, o fornecimento mínimo e máximo de gás para sua operação caso sejam despachadas.

A função objetivo de maximização das receitas considera a comercialização de um determinado suprimento de gás disponível, sujeito à capacidade de transporte declarada pelo Transportador e levando em consideração os volumes requeridos pelo Distribuidor e/ou grandes consumidores (plantas termelétricas), pois é praticado um preço final do gás (commodity + transporte) diferenciado para cada tipo de consumidor (industrial e termelétrico), além de custos de transferência quando aplicado a consumo interno das refinarias, unidades industriais e plantas termelétricas de propriedade da PETROBRAS. Esta função otimiza o produto dos preços versus volumes de gás nominados ao Distribuidor, em cada ponto de entrega, para uso industrial, termelétrico e uso interno pela Petrobras.

A função objetivo de minimização mitiga as perdas de receitas e de pagamento de penalidades contratuais, decorrentes de não se entregar a totalidade dos volumes de gás nominados, para um determinado dia, devido a contingências operacionais que reduzem a capacidade de transporte do Transportador ou devido a redução do suprimento de gás pelo Produtor. As contingências operacionais que podem reduzir capacidade de transporte envolvem falhas de unidades compressoras das estações de compressão do gasoduto, falhas dos pontos de

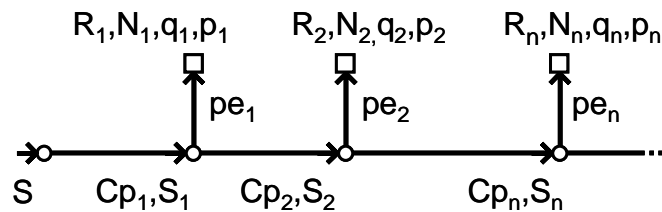
entrega de gás e falhas por fechamento indevido de válvulas de bloqueio do gasoduto. As frequências das falhas de unidades compressoras das estações de compressão são indicadas nas tabelas 4, 5 e 6 para o trecho boliviano do Gasbol e 8, 9 e 10 para o trecho brasileiro. O fechamento de válvulas de bloqueio, devido à elevada disponibilidade desses equipamentos, na ordem de 0.999949 (item 6.1.2.1), e por permanecerem fechadas apenas por cerca de 4 horas, não apresentam impacto significativo na redução da capacidade de transporte do Gasoduto e, portanto, não foram consideradas. Mesmo proceder foi adotado para os pontos de entrega de gás. O ponto de suprimento de gás na Bolívia, face ao nível de redundância já instalado na estação de compressão de Rio Grande, garante capacidade de transporte entre 34.445 e 45.445 MMm³/d (figura 19), num intervalo de confiança de 90% e, conseqüentemente, não requer investimentos adicionais para aumentar o nível de redundância já instalado.

As simulações Monte Carlo para falhas das unidades compressoras, pontos de entrega de gás e válvulas de bloqueio foram efetuadas simultaneamente. Os eventos relacionados com o fechamento das válvulas e pontos de entrega mostraram-se raros (baixa probabilidade de ocorrência) e não impactaram negativamente a capacidade de transporte.

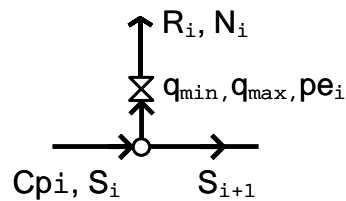
8.1 Maximização da comercialização do gás

A função objetivo de maximização é o produto do somatório dos volumes de gás nominados ao Distribuidor pelos preços finais de venda de gás (commodity + transporte) em cada ponto de entrega de gás. As restrições aplicáveis envolvem: (1) que o somatório dos volumes de gás nominados ao Distribuidor seja menor ou igual ao suprimento de gás disponibilizado pelo Produtor; (2) que o somatório dos volumes de gás nominados ao Distribuidor seja menor ou igual a capacidade de transporte declarada pelo Transportador; (3) que cada volume de gás nominado num dado ponto de entrega seja menor ou igual ao volume requerido pelo Distribuidor; (4) que cada volume de gás nominado num dado ponto de entrega seja maior ou igual ao volume mínimo operacional daquele ponto de entrega ou zero, conforme definido pelas restrições (3) e (4); (5) que os preços, capacidades de transporte em cada trecho do Gasoduto e Suprimentos disponíveis de gás em

cada ponto de entrega sejam maiores ou iguais a zero; (6) que o Suprimento de gás a montante de cada ponto de entrega seja igual ao volume nominado naquele ponto de entrega mais o suprimento a jusante daquele ponto de entrega; (7) que o Suprimento de gás a montante de cada ponto de entrega seja menor ou igual a capacidade de transporte a montante do respectivo ponto de entrega; (8) que a capacidade de transporte a montante de cada ponto de entrega seja maior que zero e menor ou igual a 30 MMm³/d; (9) que a capacidade máxima de entrega de gás num dado ponto de entrega seja maior ou igual ao volume de gás nominado para aquele ponto de entrega; (10) que utilizou-se variáveis binárias de modo a permitir que o solver otimize a distribuição de volumes de gás através dos pontos de entrega, podendo identificar pontos de entrega com vazões iguais a zero, mínimas ou superiores as mínimas definidas para cada ponto de entrega.



Malha de Transporte



Detalhe dos Nós de Entrega.

$$\text{Max } f(z) = \sum_{i=1}^n N_i p_i$$

sujeito a :

$$\sum_{i=1}^n N_i \leq S \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n N_i \leq Cp \quad (2)$$

$$N_i \leq R_i \times Y_i \quad (3)$$

$$N_i \geq q \min_i \times Y_i \quad (4)$$

$$p_i, Cp_i, S_i \geq 0 \quad (5)$$

$$S_i = N_i + S_{i+1} \quad (6)$$

$$S_i \leq Cp_i \quad (7)$$

$$0 \leq Cp_i \leq 30 \quad (8)$$

$$q \max - N_i \geq 0 \quad (9)$$

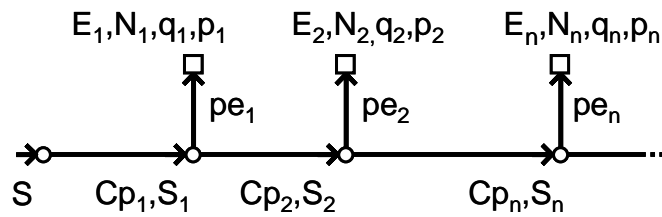
$$Y_i = 0 \text{ ou } 1 \quad (10)$$

z , Receita da venda do gás
 p , preço do gás
 S , suprimento de gás
 C_p , capacidade de transporte (trecho do gasoduto)
Volumes de Gás:
 R , volume de gás requerido no pe
 N , volume de gás nominado no pe
Pontos de Entrega:
 pe , ponto de entrega de gás
 q_{\min} volume mínimo operacional do pe
 q_{\max} , capacidade máx. do ponto de entrega
 Y , variável binária

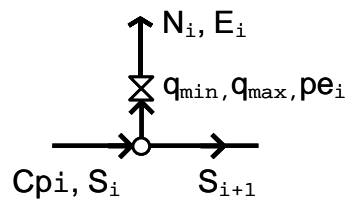
8.2 Minimização das perdas (receitas e multas contratuais)

A função objetivo de minimização é o produto do somatório da diferença entre os volumes de gás nominados e os volumes efetivamente entregues ao Distribuidor, num dado dia de operação, pela soma dos preços e multas contratuais para cada ponto de entrega onde seja definido pelo Solver tais ocorrências de atendimento parcial as demandas do Distribuidor. As restrições aplicáveis envolvem: (1) que o somatório dos volumes de gás entregues ao Distribuidor seja menor ou igual ao suprimento de gás disponibilizado pelo Produtor ou reduzido devido a contingências operacionais; (2) que o somatório dos volumes de gás entregues ao Distribuidor seja menor ou igual a capacidade de transporte declarada pelo Transportador ou decorrente de restrição operacional; (3) que cada volume de gás entregue num dado ponto de entrega seja menor ou igual ao volume nominado ao Distribuidor; (4) que cada volume de gás entregue num dado ponto de entrega seja maior ou igual ao volume mínimo operacional daquele ponto de entrega ou zero, conforme definido pelas restrições (3) e (4); (5) que os preços, multas contratuais, capacidades de transporte em cada trecho do Gasoduto e Suprimentos disponíveis de gás em cada ponto de entrega sejam maiores ou iguais a zero; (6) que o Suprimento de gás a montante de cada ponto de entrega seja igual ao volume entregue naquele ponto de entrega mais o suprimento a jusante daquele ponto de entrega; (7) que o Suprimento de gás a montante de cada ponto de entrega seja menor ou igual a capacidade de transporte a montante do respectivo ponto de entrega; (8) que a capacidade de transporte a montante de cada ponto de entrega seja maior que zero e menor ou igual a 30 MMm³/d; (9) que utilizou-se variáveis binárias de modo a permitir que o solver

otimize a distribuição de volumes de gás através dos pontos de entrega, podendo identificar pontos de entrega com vazões iguais a zero, mínimas ou superiores as mínimas definidas para cada ponto de entrega.



Malha de Transporte



Detalhe dos Nós de Entrega.

$$\text{Min } f(z) = \sum_{i=1}^n (N - E)_i \times (p + m)_i$$

sujeito a :

$$\sum_{i=1}^n E_i \leq S \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n E_i \leq Cp \quad (2)$$

$$E_i \leq N_i \times Y_i \quad (3)$$

$$E_i \geq q \min_i \times Y_i \quad (4)$$

$$p_i, m_i, Cp_i, S_i \geq 0 \quad (5)$$

$$S_i = E_i + S_{i+1} \quad (6)$$

$$S_i \leq Cp_i \quad (7)$$

$$0 \leq Cp_i \leq 30 \quad (8)$$

$$Y_i = 0 \text{ ou } 1 \quad (9)$$

z , perdas de receita e penalidades

p , preço do gás

m , multa por entrega do volume de gás

S , suprimento de gás

Cp , capacidade de transporte (trecho do gasoduto)

Volumes de Gás:

N , volume de gás nominado no pe

E , volume de gás entregue no pe

Pontos de Entrega:

pe , ponto de entrega de gás

q_{\min} , volume mínimo operacional do pe

q_{\max} , capacidade máx. do ponto de entrega

Y , variável binária