

3

Análise do Custo de Transporte de Gás Natural

3.1

Introdução

Uma vez definido o esquema à utilizar para o transporte do gás natural para cada modal se procedeu com o cálculo do custo de transporte de GN segundo a ANP [20], que passa por três etapas:

1. Levantamento do investimento necessário para o desenvolvimento da atividade, custos de operação e manutenção e impostos;
2. Definição da remuneração adequada à atividade (taxa de retorno sobre o investimento); e
3. Estimativa da demanda.

Obtidos esses três parâmetros se calcula o custo de transporte, que deve ser tal que multiplicado pela demanda recupere o investimento remunerado à taxa de retorno considerada justa, mais os custos de operação e manutenção e impostos.

Uma forma de se fazer esse cálculo é construindo um fluxo de caixa onde estejam como saídas de caixa o valor da base de ativos e os novos investimentos, as despesas com operação e manutenção e os valores pagos por impostos; e, como entrada de caixa a receita, que é o produto da tarifa (variável procurada) pela demanda pelo serviço de transporte.

O investimento total remunerado segundo a taxa de retorno estabelecida deve ter sido recuperado ao final da vida útil da infra-estrutura de transporte. Dessa forma pode-se montar esse fluxo de caixa com um número de períodos que correspondam à vida útil da infra-estrutura de transporte. Alternativamente, pode-

se montar o fluxo de caixa com um número de períodos menor do que a vida útil e considerar um valor residual ao final do fluxo.

O custo é calculado de modo que o valor presente desse fluxo de caixa, descontado pela taxa de retorno definida, seja nulo (a taxa de retorno definida é a taxa interna de retorno do fluxo de caixa). Ou seja, o valor presente da receita total a ser gerada pela venda do serviço de transporte (entradas de caixa), deve ser igual ao valor presente das saídas de caixa.

A equação para o cálculo do custo de transporte pode ser escrita a partir da fórmula de cálculo do valor presente:

$$\sum_{i=1}^n \frac{V_i \cdot \text{Custo}}{(1+r)^i} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Inv}_i + C_i - \text{VR}_n}{(1+r)^i} \quad (3.1)$$

Onde:

- V_i = Demanda no ano i , em $\text{mil} \cdot \text{m}^3$.
- Inv_i = Investimento realizado no ano i , em US\$.
- C_i = Custos de operação e manutenção referentes ao ano i , em US\$.
- VR_n = Valor residual ao final do ano n , em US\$.
- r = Taxa de retorno, em %.
- n = Prazo de avaliação, em anos.

Todas as variáveis na equação acima devem ser conhecidas, menos o *Custo*, que é a variável procurada.

Com base principalmente na informação conseguida de representante de GALILEO (Argentina), NEOTMgás (Brasil) e FIBA (USA) que possuem o sistema de GNC; a informação de GásLocal (Brasil, consórcio formado pela White Martins, Petrobras a própria GásLocal) que possuem o sistema de GNL e os custos unitários por quilometro-polegada para a construção de um gasoduto se

procedeu a realizar as cotizações dos equipamentos, incluído investimento, instalações e custos de operação & manutenção.

Ainda quando durante a construção dos projetos os investidores selecionarão os equipamentos que mais se acomodem a suas necessidades e aperfeiçoem seus resultados financeiros, para efeitos deste estudo definimos equipamentos modulares que permitam atender em forma simples a demanda.

3.2

Estimativa do Número de Caminhões para modal GNC e GNL

O custo da logística de transporte começa com a estimativa do levantamento do número de caminhões (i.e. carretas e cavalo) para o modal GNC e GNL necessários para atender a cada combinação de volume e distância. Desta forma, foi desenvolvido um modelo capaz de abarcar as considerações logísticas relacionadas a estes custos. [21, 22]

A estimativa do número de caminhões foi feita a partir da demanda (V) em $\text{mil}\cdot\text{m}^3/\text{dia}$ e distância percorrida (L) em km. Logo é possível calcular os itens cujas fórmulas podem ser vistas no Quadro 1.

Quadro 1: Formulário para calcular o número de caminhões

Item	Fórmula
Tempo de estrada da carreta (horas)	$T_{car}^e = \frac{2 \cdot L}{V_m}$
Tempo de consumo por carreta (horas)	$T_{car}^{cons} = \frac{24 \cdot Vol_{car}^{ef}}{1000 \cdot V}$
Tempo total gasto por carreta (horas)	$T_{car}^{Tot} = T_{car}^a + T_{car}^{tb} + T_{car}^e + T_{car}^{cons}$, para GNC $T_{car}^{Tot} = T_{car}^a + T_{car}^d + T_{car}^e$, para GNL
Número de carretas/dia descarregando	$N_v = \frac{1000 \cdot V}{Vol_{car}^{Tot}}$
Número de carretas	$N_{car} = (1 - P_{cb}) \frac{24 \cdot T_{car}^{Tot}}{T_{car}^o \cdot T_{car}^{cons}}, (N_{car} \geq 2)$

Número de cavalos	$N_{cav} = N_{car} - 2$, para GNC $N_{cav} = N_{car}$, para GNL
-------------------	--

▪ **Tempo de estrada da carreta** → em horas, dado pela fórmula:

$$T_{car}^e = \frac{2 \cdot L}{V_m} \quad (3.2)$$

Onde:

V_m = Velocidade média do caminhão no trecho percorrido, em km/h.

A velocidade do caminhão é um dado sensível, já que pode variar dependendo da rota escolhida. Para este trabalho, tomou-se como base 40 km/h, e as sensibilidades de 60 km/h e 80 km/h para casos mais otimistas.

▪ **Volume total por carreta** → em m³ de gás natural, definido como:

$$Vol_{car}^{Tot} = Vol_{car}^{ef}, \text{ para o modal GNC} \quad (3.3)$$

$$Vol_{car}^{Tot} = 610 \cdot Vol_{car}^{ef}, \text{ para o modal GNL} \quad (3.4)$$

Onde:

Vol_{car}^{ef} = Volume efetivo da carreta, em m³.

Para o caso de GNC, o volume efetivo da carreta é a soma do volume efetivo dos módulos. Nesta análise de logística de transporte assumiu a tecnologia do tipo Galileo, onde a capacidade do módulo é 1.500 Nm³ e uma carreta tem como máximo quatro módulos com um 95% de rendimento na transferência.

O valor 610 é o fator de conversão entre GNL e gás natural.

▪ **Tempo de consumo equivalente a uma carreta** → em horas, trata-se do tempo que o(s) cliente(s) leva(m) para consumir a carga de uma carreta, sendo definido como:

$$T_{car}^{cons} = \frac{24 \cdot Vol_{car}^{ef}}{1000 \cdot V} \quad (3.5)$$

▪ **Tempo total gasto por carreta** → em horas, definido como o tempo total que uma carreta leva fazer uma viagem de ida e volta.

$$T_{car}^{Tot} = T_{car}^a + T_{car}^{tb} + T_{car}^e + T_{car}^{cons}, \text{ para GNC} \quad (3.6)$$

$$T_{car}^{Tot} = T_{car}^a + T_{car}^d + T_{car}^e, \text{ para GNL} \quad (3.7)$$

Onde:

T_{car}^a = Tempo de abastecimento por carreta, em horas.

T_{car}^{tb} = Tempo de transbordo (carregamento) por carreta, em horas.

T_{car}^e = Tempo de estrada da carreta, em horas.

T_{car}^{cons} = Tempo de consumo equivalente a uma carreta, em horas.

T_{car}^d = Tempo descarregamento por carreta, em horas.

▪ **Número de carretas/dia descarregando** → trata-se do número de viagens necessárias para atender a demanda diária totais. É definido como o maior número inteiro resultante de fórmula abaixo:

$$N_v = \frac{1000 \cdot V}{Vol_{car}^{Tot}} \quad (3.8)$$

▪ **Número de carretas** → definido como o maior número o inteiro resultante da fórmula:

$$N_{car} = (1 - P_{cb}) \frac{24 \cdot T_{car}^{Tot}}{T_{car}^o \cdot T_{car}^{cons}} \quad (3.9)$$

Onde:

T_{car}^o = Tempo de operação diária por carreta, em horas.

P_{cb} = Percentual de carretas de back-up, em %.

Sendo que: $N_{cav} \geq 2$

Para garantir a continuidade no abastecimento de gás se requer que sempre este disponível um módulo de armazenamento de reserva, de tal forma que antes de terminar o módulo principal, o fornecimento o assuma o módulo de reserva.

O armazenamento principal deve ter capacidade para fornecer pelo menos um dia de gás. O armazenamento de reserva que assegura o fornecimento de gás enquanto chega o veículo com o GN, depende da distância. Em nosso caso para estimar este valor considerou-se um percentual de carretas de back-up (P_{cb}).

▪ **Número de cavalos** → é definido como:

$$N_{cav} = N_{car} - 2, \text{ para GNC} \quad (3.10)$$

$$N_{cav} = N_{car}, \text{ para GNL} \quad (3.11)$$

Sendo que para: $N_{car} = 2, N_{cav} = 1$, para GNC

Na Tabela 2, se mostra um resumo dos dados de entrada adotados, vale lembrar que os dados são estimados para uma operação normal e qualquer sensibilidade pode variar nos resultados.

Tabela 2: Dados de entrada para o cálculo do número de caminhões

Dados Input			GNC	GNL
Velocidade média do caminhão	V_m	[km/h]	40, 60, 80	
Volume efetivo por carreta	Vol_{car}^{ef}	[m ³]	5.700	24.400
Tempo de abastecimento por carreta	T_{car}^a	[h]	1	2
Tempo de transbordo por carreta	T_{car}^{tb}	[h]	1	-
Tempo descarregamento por carreta	T_{car}^d	[h]	-	1
Tempo de operação diária por carreta	T_{car}^o	[h]	20	

Percentual de carreta de back-up	P_{cb}	[%]	20%
----------------------------------	----------	-----	-----

A partir desses componentes é possível calcular os integrantes do custo de investimento e operacionais do sistema de transporte.

3.3

Custos do Sistema de Transporte

3.3.1

Custo de Investimento do Sistema de Transporte

O custo de investimento é a soma da quantidade de caminhões (isto o número de carretas e cavalo, para o caso de GNC também o número de módulos) que se precisa para atender a demanda de gás natural.

- **Custo do investimento em módulos** → para um dado preço por módulo, P_{mod} (em US\$), calcula-se o custo total dos módulos como sendo:

$$CI_{mod} = N_{mod} \cdot N_{car} \cdot P_{mod}, \text{ para GNC} \quad (3.12)$$

- **Custo do investimento em carretas** → para um dado preço por carreta, P_{car} (em US\$), calcula-se o custo total das carretas como sendo:

$$CI_{car} = N_{car} \cdot P_{car} \quad (3.13)$$

- **Custo de investimento em cavalos** → para um dado preço por cavalo, P_{cav} (em US\$), calcule-se o custo dos cavalos como sendo:

$$CI_{cav} = N_{cav} \cdot P_{cav} \quad (3.14)$$

- **Custo de investimento total do sistema de transporte** → resultante a partir da expressão:

$$CI_{trans}^{Tot} = CI_{mod} + CI_{cav} + C_{car}, \text{ para GNC} \quad (3.15)$$

$$CI_{trans}^{Tot} = CI_{cav} + C_{car}, \text{ para GNL} \quad (3.16)$$

Na Tabela 3 são mostrados os preços unitários dos módulos, carretas e cavalos, assim como um resumo das formulas para o cálculo de investimento dos componentes do sistema de transporte.

Tabela 3: Custo de investimento do sistema de transporte

Dados Input e Output [US\$]	GNC	GNL
Preço do módulo ¹ (P_{mod})	35.000	-
Preço da carreta ² (P_{car})	400.000	400.000
Preço do cavalo ³ (P_{cav})	175.000	175.000
Custo do Investimento em módulos	$CI_{mod} = N_{mod} \cdot N_{car} \cdot P_{mod}$	
Custo do Investimento em carreta	$CI_{car} = N_{car} \cdot P_{car}$	
Custo do Investimento em cavalos	$CI_{cav} = N_{cav} \cdot P_{cav}$	
Custo do Investimento Total	$CI_{trans}^{Tot} = CI_{mod} + CI_{cav} + C_{car}, \text{ para GNC}$ $CI_{trans}^{Tot} = CI_{cav} + C_{car}, \text{ para GNL}$	

¹ Capacidade de 1.500 Nm³.

² Capacidade de 40 toneladas.

³ Informações levantadas junto às empresas Volvo e Scania.

3.3.2

Custo Operacional do Sistema de Transporte

A estimativa do custo operacional do sistema de transporte é baseada nos dois principais dados de entrada, quais sejam: custo fixo e custo variável.

Lima [23], a classificação de custo fixo e variável deve ser feita sempre em relação a algum parâmetro de comparação. Normalmente, em uma empresa industrial são considerados itens de custos fixos aqueles que independem do nível de atividade e itens de custos variáveis aqueles que aumentam de acordo com o crescimento do nível de atividade.

Do ponto de vista de um transportador, usualmente essa classificação é feita em relação à distância percorrida, como se a unidade variável fosse a quilometragem. Dessa forma, todos os custos que ocorrem de maneira independente ao deslocamento do caminhão são considerados fixos e os custos que variam de acordo com a distância percorrida são considerados variáveis. É importante ressaltar que essa forma de classificação não é uma regra geral. Nesse estudo, o conceito de fixo e variável estará sempre relacionada à distância percorrida. [23]

Vale destacar duas considerações importantes com relação ao conceito de custos fixos e variáveis. A primeira é que este conceito só faz sentido em análises de curto prazo, uma vez que no longo prazo a capacidade pode ser variável. Por exemplo, no longo prazo pode-se adquirir ou vender determinados ativos, como também se pode contratar ou demitir pessoal, alterando, portanto a estrutura de custos fixos. Pode-se dizer que no longo prazo todos os custos são variáveis. [23]

A segunda consideração é que um custo variável pode se tornar fixo à medida que um determinado nível de serviço é comprometido a priori. Por exemplo, se uma empresa de ônibus se compromete a oferecer uma determinada frequência de viagens necessariamente todos os custos variáveis (por exemplo: combustível) dessas viagens se tornam independentes do número de passageiros, ou de qualquer outra variável. Então esses custos passam a ser considerados fixos. O processo de custeio pode ser dividido em quatro etapas.

1. Definição dos itens de custos

Os principais itens de custos do transporte rodoviário são listados a seguir. Mais adiante, na etapa de cálculo dos itens de custos, serão fornecidas informações mais detalhadas.

- Depreciação; do ponto de vista gerencial, a depreciação pode ser imaginada como o capital que deveria ser reservado para a reposição do bem ao fim de sua vida útil. Nosso trabalho o valor residual (VR_n) ao final do período é considerado nulo.

- Remuneração do capital; diz respeito ao custo de oportunidade do capital imobilizado na compra dos ativos. Nosso estudo a taxa de retorno (r) se tomo 14% como base e como sensibilidades 12% e 16%.
- Pessoal (motorista); deve ser considerado tanto o salário quanto os encargos e benefícios.
- Seguro do veículo.
- IPVA/seguro obrigatório.
- Custos administrativos.
- Combustível.
- Pneus.
- Lubrificantes.
- Manutenção.
- Pedágio.

É importante notar que a remuneração do capital, que é um custo de oportunidade, e a depreciação devem ser consideradas como itens independentes. Caso o serviço tenha uma operação complementar ao transporte, como um equipamento específico no veículo, como uma bomba de refrigeração, outros itens de custos devem ser adicionados no modelo para garantir a sua eficácia do custeio.

2. Classificação dos itens de custos em fixos e variáveis

Essa classificação entre fixo e variável, conforme já comentado, será feita em relação à distância percorrida. Assim, todos os custos que variam de acordo com a quilometragem serão considerados variáveis, enquanto que os demais serão considerados fixos.

São considerados itens de custo fixo: depreciação, remuneração do capital, pessoal (motorista), custos administrativos, seguro do veículo, IPVA/ seguro obrigatório.

São considerados itens de custo variável: pneus, combustível, lubrificantes, lavagem, lubrificação, manutenção e pedágio. O pedágio não deve ser alocado de acordo com a quilometragem como os demais, devendo ser considerado de acordo com cada rota, já que o valor do pedágio normalmente não é proporcional ao tamanho da rota.

Vale lembrar que essa classificação entre fixo e variável depende tanto da operação do serviço, como também da forma que algumas contas são pagas. No Brasil, o motorista recebe um salário mensal, assim esse item de custo é classificado como fixo. Já na literatura americana a remuneração do motorista é considerada como um item de custo variável, uma vez que nos EUA é de costume o motorista ser remunerado de acordo com a quilometragem.

3. Cálculo do custo de cada item

Para custear as rotas de entrega ou de coleta, é interessante calcular os itens de custos unitários de cada tipo de veículo utilizado. Como todos os itens, exceto os custos administrativos e os de manutenção, são diretos em relação ao veículo, esse cálculo se torna relativamente simples e não fica muito sujeito a subjetividade dos rateios.

Como os custos fixos são constantes mês a mês, salvo variações de preço e ou salariais, estes são calculados em relação ao mês (R\$/mês).

Já os custos variáveis, por dependerem da distância devem ser calculados em função da quilometragem (R\$/km).

A seguir são explicados os cálculos dos itens de custo fixo, cujas fórmulas podem ser vistas no Quadro 2 e os resultados na Tabela 4.

Quadro 2: Formulário para cálculo de itens de custo de transporte

Custo Variável		Custo Variável	
Item de Custo	Fórmula	Item de Custo	Fórmula
Depreciação	$C_{dep} = \frac{V_a - V_r}{n_{meses}}$	Pneu	$C_p = \frac{n_p (p_1 + n_r p_2)}{v.u_{p+r}}$
Remuneração do Capital	$C_{r.c} = V_a \left((1 + i_a)^{\frac{1}{12}} - 1 \right)$	Óleo	$C_o = \frac{preço \cdot cap}{i_{trocas}}$
Custo Administrativo	$C_{adm} = \frac{C_{adm.total}}{n_{veiculos}}$	Lavagem/ Lubrificação	$C_l = \frac{C_{l.total}}{i_{trocas}}$
IPVA/Seguro obrigatório	$C_{Seg/IPVA} = \frac{V_{anual}}{12}$	Combustível	$C_c = \frac{P_{litro}}{n_{rend}}$
Pessoal	Salários + encargos e benefícios	Manutenção	Custo estimado por quilômetro
-	-	Pedágio	Custo de acordo com a rota

O valor da depreciação será igual à diferença entre o valor de aquisição e o valor residual do veículo, dividido pela sua vida útil (em meses). O valor de aquisição deve considerar as despesas com taxas de licenciamento e frete do veículo, enquanto o valor residual representa o seu preço de venda no futuro, descontado os impostos. Vale destacar que essa depreciação não deve ser a mesma que a contábil, uma vez que pelo regime contábil o veículo é totalmente depreciado em cinco anos, tempo incompatível com a realidade operacional. Quando uma carreta for composta de cavalo e baú, pode-se incluir o baú na conta de depreciação do cavalo, como também criar outro item de custo para sua depreciação.

A remuneração do capital não é uma despesa, mas sim um custo de oportunidade. Isto é, ao se imobilizar o capital na compra de um ativo, como o caminhão, a empresa está abrindo mão de investir esse capital em um projeto ou no mercado financeiro, o que certamente traria rendimentos. Para se calcular este item de custo, basta multiplicar o valor de aquisição do veículo pela taxa de oportunidade mensal da empresa (não importa se parte dele já foi depreciada). A

taxa de retorno representa o retorno do capital da empresa que normalmente varia entre 12% a 20% a.a. e deve ser mensalisada, já que o objetivo é calcular esse custo mensal.

O custo de pessoal deve considerar o custo com salário, horas extra, encargos e benefícios. No caso da utilização do caminhão em mais de um turno deve-se levar em conta as despesas relativas aos demais motoristas.

O IPVA/ seguro obrigatório e o seguro do veículo são despesas anuais, que devem ser divididas por 12 ao serem consideradas.

Os custos administrativos merecem um cuidado especial, pois são custos indiretos em relação ao veículo, e portanto, precisarão ser rateados. Assim, a empresa deve aplicar o critério de rateio que parecer mais justo. O mais simples a ser feito é dividir o custo administrativo mensal pelo número de veículos, que para grande maioria das situações é uma fórmula bastante justa. É importante tomar cuidado ao utilizar a informação desse item de custo para apoiar determinadas decisões, pois o fato dele ser rateado por veículo não garante que este seja eliminado, ou mesmo reduzido, caso se diminua o tamanho da frota.

Antes de explicar os cálculos dos custos variáveis, cujas fórmulas e resultados também podem ser encontrados no Quadro 2 e na Tabela 4, vale lembrar que esses itens devem ser calculados na unidade R\$/km.

O custo de combustível é o clássico exemplo de um item variável. Para calculá-lo, basta dividir o preço do litro (R\$/l) do combustível pelo rendimento do veículo (km/l). Notem que quanto menor o consumo menor será o custo de combustível por quilômetro rodado.

O custo dos pneus é calculado como se fosse uma depreciação por quilômetro em vez de tempo. Basta dividir o preço de um jogo de pneus (preço unitário do pneu vezes o número de pneus do veículo) pela vida útil em quilômetros dos pneus. Para considerar a recapagem, deve-se somar ao preço de cada pneu o preço de suas respectivas recapagens, multiplicando o resultado pelo número de pneus, para então, dividi-lo pela vida útil dos pneus considerando as recapagens.

O custo de manutenção pode ser considerado de duas maneiras. A mais simples é com base no seu custo padrão, em R\$/km. Outra possibilidade é criar um centro de custos e calcular o custo meio de manutenção por quilometro.

O custo relativo ao óleo é calculado de maneira similar ao dos pneus. Deve-se multiplicar o preço de um litro do lubrificante pela capacidade do reservatório e dividir o resultado pelo intervalo entre as trocas de óleo.

Tabela 4: Exemplo de uma planilha de custos

Input de dados			Output		
Custos da empresa			Itens de custo fixo		
Salário do motorista	[R\$/mês]	1.300	Depreciação	[R\$/mês]	
Horas de trabalho/mês	[h.h./mês]	176	Remuneração de capital	[R\$/mês]	
Encargos e benefícios do motorista	[R\$/mês]	562,5	Mão de obra	[R\$/mês]	1.862,50
Taxa de oportunidade	[% a.a.]	12%	IPVA/Seguro Obrigatório	[R\$/mês]	100,00
Custo administrativo	[R\$/mês]	500	CF	[R\$/mês]	1.962,5
Dados do veículo			Custo administrativo	[R\$/mês]	500,00
Consumo de combustível	[km/litro]	2,53	CF c/ custos administrativos	[R\$/mês]	2.462,5
Intervalo entre troca de óleo	[km]	10.000	Itens de custo variável		
Litros de óleo por troca	[litro]	30	Combustível	[R\$/km]	0,26
Número de pneus	[-]	18	Óleo	[R\$/km]	0,01
Intervalo entre troca de pneu/recapagem	[-]	2	Pneu	[R\$/km]	0,07
Número de manutenção	[R\$/km]	0,13	Manutenção	[R\$/km]	0,13
Intervalo entre lubrificações	[km]	2.000	Custo variável	[R\$/km]	0,47
Dados de mercado					
Valor de aquisição do veículo	[R\$]	165.000			
Vida útil do veículo	[mês]	120			
Valor residual do veículo	[R\$]	65.000			
Preço do óleo	[R\$/litro]	2,7			
Preço do combustível	[R\$/litro]	0,65			
Preço do pneu	[R\$]	620	Tipo de cambio	[US\$/R\$]	1,80
Preço da recapagem		180	Custos fixos	[US\$/mês]	4.433
IPVA/Seguro Obrigatorio	[R\$/ano]	1.200	Custo variáveis	[US\$/km]	0,843

4. Custos operacionais total do sistema de transporte

Uma vez calculados os valores unitários de todos os itens de custos, basta agrupá-los (US\$/mês). Os custos variáveis também devem ser agrupados (US\$/km). Assim pode-se montar a equação de custo para uma rota, em US\$/ano:

$$CO_{trans}^{Tot} = 12 \cdot N_{cav} \cdot Cf + Cv \cdot L_a \quad (3.17)$$

Onde:

- **Custo fixo mensal por conjunto (cavalo e carreta), $Cf \rightarrow$** em US\$/mês.

Na Tabela 4 se mostra o valor calculado do custo fixo (Cf), outra forma de obter este valor é divulgado pela NTC&Logística (Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística) [24], esta associação mantém um serviço de análise econômica para os associados, que pesquisa os custos de transporte por tipo de caminhão.

▪ **Custo variável por km rodado, C_v** → em US\$/km. De igual forma que o item anterior se mostra na o valor na Tabela 4 e também é divulgado pela NTC&Logística [24].

▪ **Distância percorrida por ano, L_a** → em km. Definida como o produto entre a distância a ser percorrida ida e volta, o número de dias de funcionamento no ano (d) e o número de viagens necessárias para atender a demanda diária total (N_v); ou mais especificamente:

$$L_a = 2 \cdot L \cdot d \cdot N_v \quad (3.18)$$

Um resumo dos dados de entrada e as formulas e mostrado na Tabela 5, os valores dos custos totais de fixos e variáveis vale para qualquer valor de demanda e distancia.

Tabela 5: Custo operacional do sistema de transporte

Custo Operacional			GNC - GNL
Custo fixo mensal	C_f	[US\$]	4,433
Custo variável por km rodado	C_v	[US\$/km]	0,843
Distância percorrida por ano	L_a	[km]	$L_a = 2 \cdot L \cdot d \cdot N_v$
Custos operacionais total	CO_{trans}	[US\$/ano]	$CO_{trans}^{Tot} = 12 \cdot N_{cav} \cdot C_f + C_v \cdot L_a$

3.3.3

Cálculo do Custo do Sistema de Transporte

O custo é calculado de modo que o valor presente (VPL) desse fluxo de caixa, descontado pela taxa de retorno definida, seja nulo (a taxa de retorno definida é a taxa interna de retorno ou taxa de desconto do fluxo de caixa). Ou seja, o valor presente da receita total a ser gerada pela venda do serviço de transporte (entradas de caixa), deve ser igual ao valor presente das saídas de caixa. Tal como já foi explicado na equação (3.1). A Tabela 6 exemplifica a forma de cálculo descrita, para demanda de 100 mil·m³/dia e distâncias percorrida de 100, 200 e 400 km.

Tabela 6: Cálculo do Custo do Sistema de Transporte para o GNL e GNL

Cálculo do Custo do Sistema de Transporte								
Item			GNC			GNL		
Demanda	V	[mil-m ³ /dia]	100			100		
Distância percorrida	L	[km]	100	200	400	100	200	400
Tempo total gasto por carreta	T_{car}	[h]	8	13	23	8	13	23
Número de carretas/dia descarregando	N_v	[-]	18	18	18	18	18	18
Número de cavalos	N_{cav}	[-]	8	13	24	8	13	24
Custo de Investimento	CI_{trans}	[MMUS\$]	6,8	10,4	18,2	6,8	10,4	18,2
Custo de O&M	CO_{tras}	[MMUS\$]	1,5	2,9	5,6	1,5	2,9	5,6
VPL das Saídas de Caixa		[MMUS\$]	14,7	25,4	47,7	16,8	29,4	55,6
Demanda de Capacidade	V	[mil-m ³ /ano]	36.000			36.000		
VPL Demanda de Capacidade		[mil-m ³ /ano]	187.780			187.780		
Vida útil do Sistema de Transporte	n	[anos]	10			10		
Taxa de desconto	r	[%]	14%			14%		
Custo do Sistema de Transporte	$Custo$	[US\$/mil-m ³] [US\$/MMBTU]	78,3 2,12	135,1 3,66	253,8 6,88	70,6 1,91	123,3 3,34	233,2 6,32

3.4

Custos da Unidade de Compressão de GNC

3.4.1

Custo de Investimento do Compressor

Como já tínhamos mencionado as unidades de compressão são fornecidas pelas empresas em forma modulares, intrinsecamente seguro e fácil de instalar. Por ser modular, baixo peso e economiza o traslado fazem o mesmo a solução mais ágil para eventuais expansão e câmbios de localização. O dado de entrada mais importe para escolher um compressor e a pressão de sucção, conhecido que a pressão de descarga (de entrega nos cilindros) normalmente entre 200 e 250 bar, com isto se entra a curva de desempenho, que se mostra na Figura 10, para saber as características do compressor como: a) potência, em kW; b) número de etapas, de um a quatro etapas por compressor; c) consumo específica em kWh/Nm³; e d) capacidade de compressão, em Nm³/hora. Para os dos tipos de acionamentos de compressão, quis sejam: à gás e eletricidade.

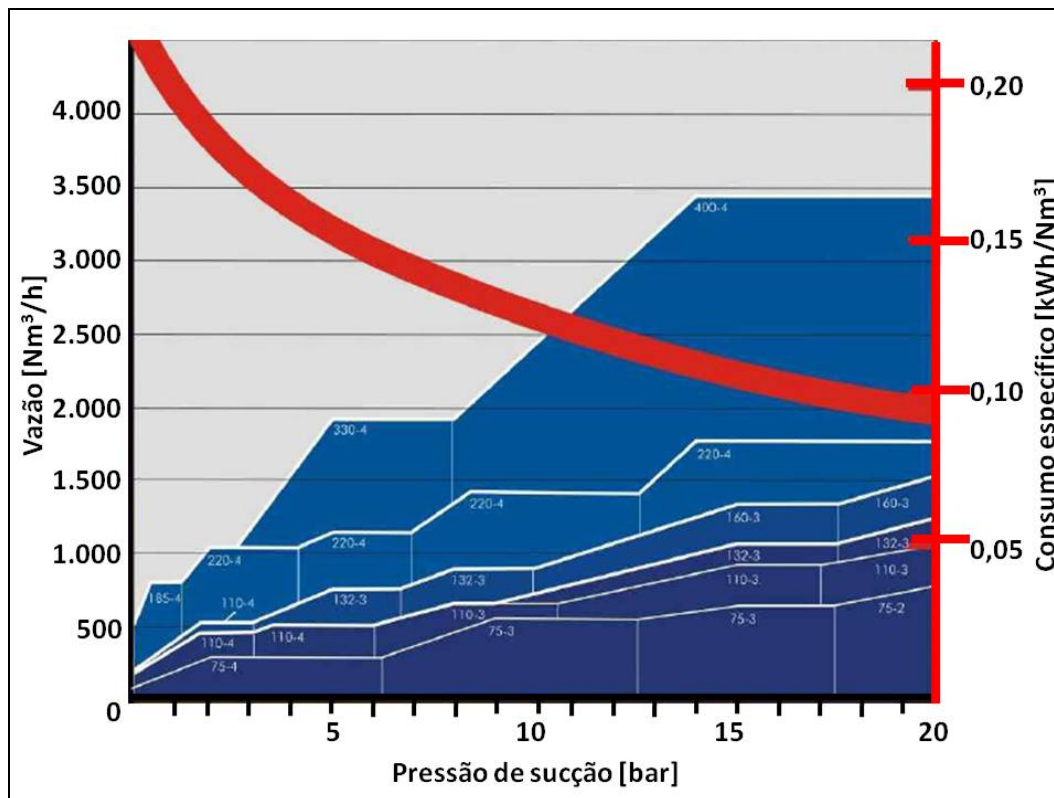


Figura 10: Curva de desempenho (Microbox®, Galileo)

A unidade de compressão é só uma variável da demanda (V , em $\text{mil} \cdot \text{m}^3/\text{dia}$) do projeto, uma forma de dimensionar quanto e a potencia total do sistema de compressor, pode ser feita calculando a razão de compressão.

▪ **Razão de compressão** → definido pela fórmula:

$$R_c = \frac{Pr_d + 1}{Pr_s + 1} \quad (3.19)$$

Onde:

Pr_d = Pressão de descarga, em bar.

Pr_s = Pressão de sucção, em bar.

Com a razão de compressão, encontra-se a potência unitária do compressor (Pot_{un}) correspondente a partir da curva de desempenho.

Os valores de entrada normalmente são: $Pr_d = 250$ bar e $Pr_s = 19,61$ bar, definiram um $R_c = 12,18$ que da $Pot_{un} = 440$ kW.

- **Potência total do compressor** → em kW, definido como:

$$Pot_{tot} = 746 \cdot 10^{-5} \cdot Pot_{un} \cdot V \quad (3.20)$$

- **Custo do investimento do compressor** → em US\$, a partir destes componentes, e tomando um preço unitário do compressor, P_{comp} (em US\$/kW), é possível calcular o custo do investimento do sistema de compressor como sendo:

$$CI_{comp} = Pot_{un} \cdot P_{comp} \quad (3.21)$$

Foi assumido o P_{comp} igual 1.600 US\$/kW para uma $Pot_{un} = 440$ kW.

- **Custo do investimento em obras civis** → em US\$, que inclui principalmente obras civis, instalação, a acometida e direito de gás e eletricidade. Pode ser estimado como um percentual de 20% do valor do custo do investimento de compressão, expresso como:

$$CI_{oc} = 20\% \cdot CI_{comp} \quad (3.22)$$

- **Custo do investimento total em compressão** → em US\$, e definido como:

$$CI_{comp}^{Tot} = CI_{comp} + CI_{oc} \quad (3.23)$$

3.4.2

Custo Operacional de Compressão

O custo operacional de compressão divide-se em duas partes: i) custo operacional de energia e ii) custo de operação e manutenção exceto energia, o que inclui custo de pessoal, de manutenção e outros custos, sendo então entendido como “outros custos de O&M”.

O custo de combustível depende do tipo de compressor utilizado. Como visto anteriormente, são admitidos dois tipos de acionamento de compressor: à gás e elétrica. Neste sentido, o principal dado de entrada para o cálculo do custo de

energia e o consumo específica que é tomado da curva de desempenho. Cada tipo de acionamento de compressor tem o rendimento energético, sendo 33% no caso do compressor a gás, e 90% no caso do compressor elétrico. [21]

A partir deste, calcula-se o consumo específico do compressor (Con_{esp}); resultando em 26,67 kWh/dia·kW no caso do compressor elétrico. E no caso do compressor a gás 6,65 m³/dia·kW (admitindo poder calorífico do gás de 9.400 kcal/m³). Com base nestes componentes, calcula-se então:

▪ **Consumo anual de energia do compressor** → definido como:

$$Con_{energ.comp} = \frac{Con_{esp} \cdot Pot_{tot} \cdot d}{1000} \quad (3.24)$$

Sendo medido em MWh/ano no caso do compressor elétrico, e mil·m³/ano no caso do compressor a gás.

▪ **Custo operacional de energia** → em US\$/ano, a partir do componente anterior, e tomando o preço do gás ou o preço da energia elétrica dependendo do tipo de acionamento do compressor, calcula-se o custo anual como:

$$CO_{ener.comp} = 1000 \cdot P_i \cdot Con_{energ.comp} \quad (3.25)$$

Onde P_i pode ser:

P_{gas} = Preço do gás natural combustível, em US\$/m³.

P_{elet} = Preço da energia elétrica, em US\$/kWh.

▪ **Outros custos de O&M** → em US\$/ano, como ressaltado anteriormente, além do custo de energia, é considerado o custo de O&M (exceto energia). Este custo foi estimado em 2% do custo de investimento do compressor, sendo então definido como:

$$CO_{outros.comp} = 2\% \cdot CI_{comp} \quad (3.26)$$

Finalmente, define-se o custo operacional total do compressor (CO_{comp}^T) como sendo a soma entre o custo operacional em energia e os outros custos de O&M do compressor.

- **Custo operacional total do compressor** → em US\$/ano, definido como:

$$CO_{comp}^T = CO_{ener.comp} + CO_{outros.comp} \quad (3.27)$$

3.4.3

Cálculo do Custo da Unidade de Compressão

Obtidos os parâmetros se calcula o custo de transporte, que deve ser tal que multiplicada pela demanda recupere o investimento remunerado à taxa de retorno considerada justa, mais os custos de operação e manutenção, tal como se explica na equação (3.1). Na Tabela 7 a seguir exemplifica a forma de cálculo descrita, para uma demanda de 100 mil·m³/dia e uma distância de 100 km.

Tabela 7: Cálculo do Custo da Unidade de Compressão

Cálculo do Custo da Unidade de Compressão			
Demanda	V	[mil·m ³ /dia]	100
Distância percorrida	L	[km]	100
Potência total dos compressões	Pot_{tot}	[kW]	440
Consumo anual de energia	Con_{energ}	[MWh/ano]	4,225
Custo de Investimento	CI_{comp}	[MMUS\$]	0.85
Custo de O&M	CO_{comp}	[MMUS\$]	0.29
VPL das Saídas de Caixa		[MMUS\$]	2.8
Demanda de Capacidade	V	[mil·m ³ /ano]	36,000
VPL Demanda de Capacidade		[mil·m ³ /ano]	238,433
Vida útil da estação compressora	n	[anos]	20
Taxa de desconto	r	[%]	14%
Custo do Sistema do Compressor	$Custo$	[US\$/mil·m ³]	11.6
		[US\$/MMBTU]	0.314

3.5

Custos na Planta de Liquefação

3.5.1

Custo de Investimento da Planta de Liquefação

Para estimar o custo de investimento da planta de liquefação, é necessário determinar, previamente, a capacidade desejada da referida planta, sendo que tal capacidade é função do volume de gás natural a ser transportado (V , mil·m³/dia). Mais especificamente, a partir desta informação de volume, calcula-se:

- **Capacidade da planta de liquefação** → em toneladas·GNL/ano, corresponde a capacidade desejada da planta de liquefação do projeto em questão, sendo definida como:

$$Cap_{PL,proj} = \frac{1000 \cdot d \cdot V}{1336} \quad (3.28)$$

Onde d o número de dias de funcionamento por ano e $(1/1336)$ o fator de conversão de m³ de gás natural para toneladas de GNL.

A partir desta estimativa da capacidade da planta desejada, determina-se o seu custo de investimento. Na prática, o custo de investimento da planta de liquefação depende de um grande número de variáveis (tais como: economia de escala, eficiência do processo, qualidade de gás, tecnologia de tratamento do gás e pressão de alimentação do gás). Desta forma, a estimativa do custo de investimento só será possível através de analogia com plantas de tecnologia similar. Assim, o cálculo deste custo no presente estudo segue o princípio metodológico de economia de escala, pelo qual se estima o custo da planta desejada tendo como base o custo de outra planta de referência com o mesmo tipo de tecnologia.

Entre os métodos para estimar custos de investigação e desenvolvimento de projetos (*DOE-IEE, Estimating Specialty Costs* [29]) o fator de dimensionamento tem bons resultados que podem ser obtidos a partir de um fator de escala usando a

relação logarítmica conhecida como a "regra fator seis décimos," se a nova peça de equipamento é semelhante à outra de capacidade para qual o custo existem dados disponível. De acordo com essa regra, se o custo de uma unidade de capacidade é conhecido, o custo de uma unidade semelhante com X vezes a capacidade de o primeiro é cerca de (X) 0,6 vezes o custo inicial da unidade.

$$Custo.de.equipe_a = Custo.de.equipe_b \cdot \left(\frac{Cap.equipe_a}{Cap.equipe_b} \right)^{0,6} \quad (3.29)$$

Para nosso estudo a estimativa é definida então como:

- **Custo de investimento da planta de liquefação do projeto** → em US\$, definido como:

$$CI_{PL.proj} = CI_{PL.ref} \left(\frac{Cap_{PL.proj}}{Cap_{PL.ref}} \right)^f \quad (3.30)$$

Onde:

f = Fator de escala, tendo sido adotado o valor de 0,60.

$CI_{PL.ref}$ = Custo de investimento de uma planta de liquefação de referência, em US\$.

$Cap_{PL.ref}$ = Capacidade de uma planta de liquefação de referência, em toneladas GNL/ano.

Para efeito deste estudo adotou-se o valor de divulgado pelo Projeto Gemini⁵, de US\$ 27 milhões, acrescido de 20%, para uma planta de 102 mil toneladas de GNL anuais. Segundo levantamento feito junto ao Projeto Gemini, o

⁵ Consórcio formado pelas empresas White Martins Gases Industriais Ltda., Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) e GNL Gemini Comercialização e Logística de Gás Ltda. Implementado no ano de 2005, o Projeto Gemini consiste na liquefação de gás natural em uma Unidade localizada no município de Paulínia/SP, a qual possui capacidade de 380 mil m³/dia,

custo de US\$ 27 milhões não inclui impostos e se refere a uma planta que compra eletricidade para uma potência equivalente de 6 MW. Em geral, as plantas GNL são projetadas para gerar toda a energia necessária ao processo através do próprio gás natural. Por estas duas razões, foi necessário um adicional de 20% no valor anunciado da planta Gemini para efeito do cálculo do custo de investimento da planta de referência para o projeto, Almeida [21].

A equação anterior indica que um gráfico logarítmico entre a capacidade de um equipamento versus o custo para um determinado tipo de equipamento deve ser uma linha com uma pendente igual a 0,6. A Figura 11 apresenta uma estimativa deste tipo para uma planta de liquefação feita a partir dos dados de entrada de referência.

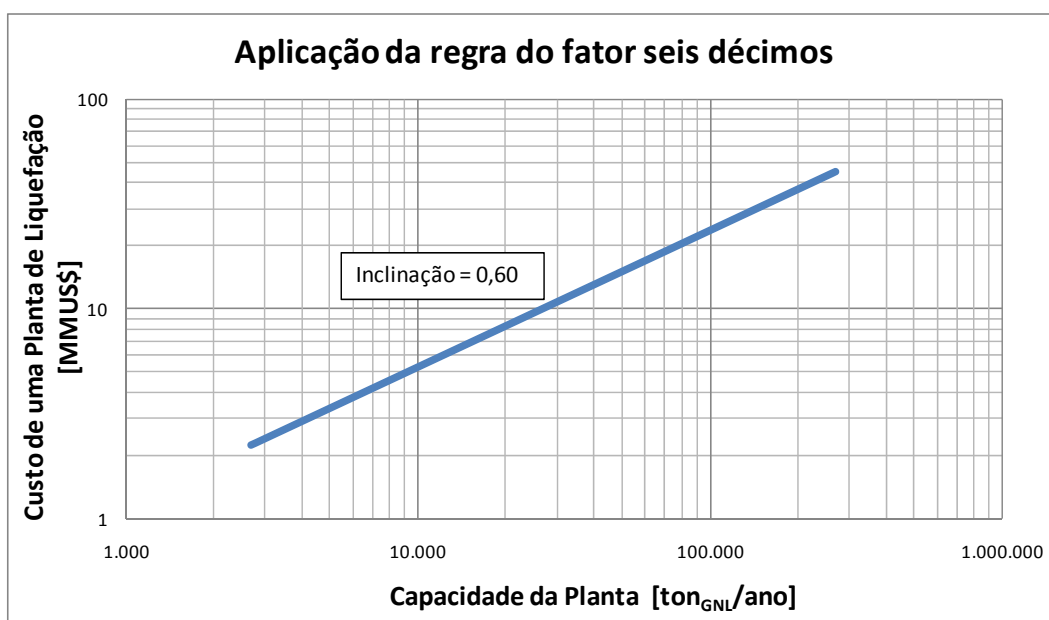


Figura 11: Aplicação da regra do fator seis décimos para uma planta de liquefação.

A aplicação da regra do fator seis décimos para a maior parte dos equipamentos adquiridos é uma simplificação de um valioso conceito de custos já que os valores reais do custo o fator de capacidade normalmente variam de menos 0,2 a mais que 1,0. Devido a isto, o fator 0,6 só deve ser utilizado na ausência de outras informações, como é nosso caso. Em geral, a relação custo-capacidade não deve ser usada mais lá de uma gama de dez vezes a capacidade, e se deve ter cuidado para assegurar-se de que os equipamentos são similares em quanto ao tipo de construção, materiais de construção, a temperatura e a pressão de funcionamento e outras variáveis pertinentes. [29]

3.5.2

Custo Operacional da Planta de Liquefação

O custo operacional da planta de liquefação está dividido em duas partes, quais sejam: i) o custo operacional de energia; e, ii) o custo de operação e manutenção exceto energia, incluindo gastos em pessoal e outros custos, também denominado de “outros custos de O&M”.

Com relação ao custo de energia, pressupõe-se que toda energia consumida pela planta seja gerada a partir do gás natural. Normalmente, está é a configuração adotada, exceto nos casos em que o custo da energia elétrica é menor que gerar a partir do gás natural. Desta forma, para calcular os custos de energia do projeto, utilizou-se o indicador de eficiência de energia primária da planta. Ou seja, a relação entre a quantidade de GNL produzida e a quantidade de gás natural de entrada. Vale ressaltar que esta diferença não se deve apenas ao consumo de energia nos compressores e outros equipamentos, incluindo também as perdas, Almeida [21].

A estimativa do custo operacional de energia da planta de liquefação toma como base o seguinte dado de entrada:

- **Rendimento energético da planta de liquefação (R_{PL})** → a eficiência das plantas de GNL se reduz significativamente com a redução da escala. De acordo com levantamentos realizados na literatura (Pita [13]), uma planta nas escalas consideradas pelo projeto teria uma eficiência aproximadamente de 85%. Este foi o valor adotado na presente análise. A partir deste dado calcula-se:

- **Consumo de energia da planta de liquefação** → em $\text{mil} \cdot \text{m}^3/\text{ano}$, sendo definido como:

$$Con_{ener.PL} = \left(\frac{V}{R_{PL}} - V \right) \cdot d \quad (3.31)$$

Sendo d o número de dias de funcionamento no ano.

Com base nesta informação é possível obter:

- **Custo de energia da planta de liquefação** → em US\$/ano, definido como:

$$CO_{ener.PL} = 1000 \cdot Con_{ener.PL} \cdot P_{gas} \quad (3.32)$$

- **Outros custos de O&M da planta de liquefação** → em US\$/ano, foi estimado em 3% do custo de investimento da planta de liquefação, sendo então definido como:

$$CO_{outros.PL} = 3\% \cdot CI_{PL.proj} \quad (3.33)$$

- **Custo operacional da planta de liquefação** → em US\$/ano, definido como:

$$CO_{PL} = CO_{ener.PL} + CO_{outros.PL} \quad (3.34)$$

3.6

Custos no Sistema de Estocagem de GNL

A metodologia aqui considerada assume que o projeto arca com os custos de investimento nos sistemas de armazenamento de GNL no mercado final. O custo de operação destes tanques ficará, todavia, a cargo dos compradores do GNL.

3.6.1

Custo de Investimento do Sistema de Estocagem

A estimativa do custo do investimento em tanques parte do seguinte dado de entrada:

- **Dias de estoque desejado (d_e)** → corresponde a quantidade de dias de demanda diária de gás, expressa pela razão já definida, V (em mil·m³/dia), a ser estocada. Nesse estudo, foi definido o valor de $d_e=3$.

A partir desta informação, calcula-se então:

- **Quantidade a ser estocada** → em m³ de GNL por dia; corresponde a quantidade desejada de estoque para o projeto em análise, sendo definida como:

$$Es = \frac{1000 \cdot d_e \cdot V}{610} \quad (3.35)$$

A partir da estimativa do volume a ser estocado, determine-se o custo de investimento, com base ao mesmo princípio metodológico adotado na estimativa apresentada para o custo da planta, pelo qual se calcula o custo do tanque com a capacidade desejada a partir de um tanque de referência, do preço desta, e do fator de escala. Desta forma, a estimativa do custo de tanque é definida então como:

- **Custo de investimento em tanque do projeto** → em US\$, definido como:

$$CI_{\tan q. proj} = CI_{\tan q. ref} \left(\frac{Es}{Cap_{\tan q. ref}} \right)^f \quad (3.36)$$

Onde:

f = Fator de escala do sistema de tanque; no presente estudo foi adotado a valor de 0,60.

$CI_{\tan q. ref}$ = Custo de investimento de um tanque de referência; em US\$, na presente análise adotou-se o valor de US\$290.000. [21]

$Cap_{\tan q. ref}$ = Capacidade de um tanque de referência; em m³ de GNL, tendo sido adotado a capacidade de 250 m³ de GNL. [21]

3.6.2

Cálculo do Custo da Planta de Liquefação e Estocagem

Fazendo um fluxo de caixa onde estejam como saídas de caixa o valor da base de ativos e os novos investimentos, as despesas com operação e manutenção;

e, como entrada de caixa a receita, que é o produto do custo (variável procurada) pela demanda pelo serviço de transporte. Como se descreve na equação (3.1). Na Tabela 8 é feito um exemplo deste cálculo.

Tabela 8: Cálculo do Custo da Planta de Liquefação e Estocagem

Item	Unidade	0	1...	...19	20
Demanda V	[mil·m ³ /dia]	100			
Distância percorrida L	[km]	100			
Custo de Investimento da planta $CI_{PL,proj}$	[MMUS\$]	10,8	-	-	0,0
Custo de Investimento da estocagem $CI_{tan,proj}$		0,3			
Custo de O&M da planta de liquefação CO_{PL}	[MMUS\$]	-	2,9	2,9	2,9
VPL das Saídas de Caixa	[MMUS\$]	30,1			
Demanda de Capacidade V	[mil·m ³ /ano]	-	36.000	36.000	36.000
VPL Demanda de Capacidade	[mil·m ³ /ano]	238.433			
Taxa de desconto r	[%]	14%			
Custo do Sistema de Transporte $Custo$	[US\$/mil·m ³] [US\$/MMBTU]	126,13 3,42			

3.7

Gasoduto

Para calcular o investimento e os custos de operação & manutenção de um gasoduto em função do comprimento e a vazão, primeiro se requer conhecer as características (dimensionamento) do gasoduto.

3.7.1

Dimensionamento de gasoduto

3.7.1.1

Cálculo do Diâmetro interno

O diâmetro interno do gasoduto é dado pela correlação de Weymouth, que é o mais recomendado na literatura (Rase [25]) por fornecer valores conservadores quando comparada com outras correlações. O qual se usa para cálculos de fluxo compressível em tubulações de gás e alta pressão, é dada por:

$$Q = 0.00261 \cdot \Phi^{2.667} \left[\frac{(p_1^2 - p_2^2) \cdot 288}{\gamma \cdot L \cdot T} \right]^{1/2} \quad (3.37)$$

Onde:

- Q = Vazão de desenho; em m³/h, é o vazão de gás à ser transportado pelo duto.
- Φ = Diâmetro interno; em mm, é o diâmetro interno do duto.
- p_1 = Pressão inicial ou de desenho; em kg/cm², é a pressão do gás no ponto inicial do duto, e a que se usa para desenhar o mesmo.
- p_2 = Pressão final; em kg/cm², é a pressão do gás no ponto final do ducto.
- γ = Gravidade específica; é a gravidade específica do gás natural.
- L = Comprimento; em km, representa o comprimento do duto.
- T = Temperatura do fluido a transportar, em K, em nosso caso gás natural.

Cabe indicar que o fator de rugosidade (f), para o caso de tubulações de aço, já esta incluído nos coeficientes da formula anterior.

3.7.1.2

Escolha do Material da tubulação

A escolha do material para a tubulações do gasoduto se faz em função aos materiais recomendados pela norma ANSI/ASME B31.8 (Rase [25]). É importante aclarar que a temperatura de operação deverá estar compreendida entre os -30 °C e 120 °C, dado que, nesta categoria, as propriedades de resistência do material não sofrerão alterações consideráveis.

Estas tubulações vêm em barras de 12 metros, e com uma junta para soldadura preparada em fábrica.

3.7.1.3

Cálculo e determinação da espessura

O cálculo da espessura se realizou em base às recomendações dadas pelo código ANSI/ASME B31.8 (Rase [25]), que indica que quando $D/t_n > 20$ (D , diâmetro nominal e t_n espessura nominal da parede) as tubulações se consideram como cilindros de parede fina. A espessura do gasoduto pode ser calculada pela expressão:

$$t = M \cdot \left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot S} + C \right) \quad (3.38)$$

Onde:

- t = Espessura do duto, em polegadas.
- P = Pressão interna de serviço do gasoduto, em psig.
- D = Diâmetro externo do duto, em polegadas.
- S = Máxima tensão permissível do material, em psi. Baseada em sua temperatura de operação.
- M = Tolerância de manufatura; para dutos de aço: 1,125.
- C = Tolerância à corrosão recomendada para o material do duto.

Cabe recordar que a espessura da parede é diretamente proporcional à pressão de trabalho, se esta pressão desce a espessura também se reduz e vice-versa.

Com base nessas dimensões, pode-se calcular a massa do gasoduto e, conhecendo-se o preço específico do aço, pode-se estimar o preço do gasoduto considerado. No entanto, neste dimensionamento não considera as estações de compressão, os equipamentos e acessórios (válvula de bloqueio e estação de medição), a proteção catódica e o revestimento interno e externo, CEGÁS [22].

Para cada projeto abarca muitas variáveis, como já tínhamos mencionado, uma estimativa do custo de investimento de gasoduto pode ser feita pela Rule-of-Thumb [19] que associa as variáveis a vazão e o comprimento do gasoduto.

3.7.2

Estimativa do Custo do Gasoduto

Com a equação Weymouth (3.36) se pode calcular a vazão para os diâmetros nominais de gasoduto normalmente usados. Com os seguintes dados de entrada mostrados na Tabela 9, pode-se obter a capacidade em MPCED tal como se mostra na Tabela 10 em função do diâmetro nominal em polegadas e o comprimento em km.

Tabela 9: Dados de entrada do gasoduto

Dados Input		
Pressão inicial	[bar]	39,23
Pressão final	[bar]	19,61
Temperatura	[°C]	20
Grav. Esp. Do gás	[-]	0,6

Tabela 10: Capacidade dos gasodutos (Fonte: Elaboração própria)

Capacidades dos Gasodutos [MPCD]											
L	Diâmetros nominais [in]										
[km]	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
1	4,00	23,6	70,9	147,3	270,2	437,1	569,1	828,2	1.150,3	1.496,9	1.900
5	1,79	10,5	31,7	65,9	120,9	195,5	254,5	370,4	514,4	669,4	849,6
10	1,27	7,45	22,4	46,6	85,5	138,2	180,0	261,9	363,7	473,4	600,7
15	1,03	6,09	18,3	38,0	69,8	112,9	147,0	213,8	297,0	386,5	490,5
20	0,90	5,27	15,9	32,9	60,4	97,7	127,3	185,2	257,2	334,7	424,8
25	0,80	4,71	14,2	29,5	54,0	87,4	113,8	165,6	230,1	299,4	379,9
30	0,73	4,30	12,9	26,9	49,3	79,8	103,9	151,2	210,0	273,3	346,8
35	0,68	3,98	12,0	24,9	45,7	73,9	96,2	140,0	194,4	253,0	321,1
40	0,63	3,73	11,2	23,3	42,7	69,1	90,0	131,0	181,9	236,7	300,4
45	0,60	3,51	10,6	22,0	40,3	65,2	84,8	123,5	171,5	223,1	283,2
50	0,57	3,33	10,0	20,8	38,2	61,8	80,5	117,1	162,7	211,7	268,7
55	0,54	3,18	9,6	19,9	36,4	58,9	76,7	111,7	155,1	201,8	256,1
60	0,52	3,04	9,2	19,0	34,9	56,4	73,5	106,9	148,5	193,3	245,2
65	0,50	2,92	8,8	18,3	33,5	54,2	70,6	102,7	142,7	185,7	235,6
70	0,48	2,82	8,5	17,6	32,3	52,2	68,0	99,0	137,5	178,9	227,1
75	0,46	2,72	8,2	17,0	31,2	50,5	65,7	95,6	132,8	172,8	219,4
80	0,45	2,64	7,9	16,5	30,2	48,9	63,6	92,6	128,6	167,4	212,4
85	0,43	2,56	7,7	16,0	29,3	47,4	61,7	89,8	124,8	162,4	206,0
90	0,42	2,48	7,5	15,5	28,5	46,1	60,0	87,3	121,2	157,8	200,2
95	0,41	2,42	7,3	15,1	27,7	44,8	58,4	85,0	118,0	153,6	194,9
100	0,40	2,36	7,1	14,7	27,0	43,7	56,9	82,8	115,0	149,7	190,0
120	0,37	2,15	6,5	13,4	24,7	39,9	52,0	75,6	105,0	136,6	173,4
140	0,34	1,99	6,0	12,5	22,8	36,9	48,1	70,0	97,2	126,5	160,5
160	0,32	1,86	5,6	11,6	21,4	34,6	45,0	65,5	90,9	118,3	150,2
180	0,30	1,76	5,3	11,0	20,1	32,6	42,4	61,7	85,7	111,6	141,6
200	0,28	1,67	5,0	10,4	19,1	30,9	40,2	58,6	81,3	105,8	134,3
220	0,27	1,59	4,8	9,9	18,2	29,5	38,4	55,8	77,6	100,9	128,1
240	0,26	1,52	4,6	9,5	17,4	28,2	36,7	53,5	74,3	96,6	122,6
260	0,25	1,46	4,4	9,1	16,8	27,1	35,3	51,4	71,3	92,8	117,8
280	0,24	1,41	4,2	8,8	16,2	26,1	34,0	49,5	68,7	89,5	113,5
300	0,23	1,36	4,1	8,5	15,6	25,2	32,9	47,8	66,4	86,4	109,7
320	0,22	1,32	4,0	8,2	15,1	24,4	31,8	46,3	64,3	83,7	106,2
340	0,22	1,28	3,8	8,0	14,7	23,7	30,9	44,9	62,4	81,2	103,0
360	0,21	1,24	3,7	7,8	14,2	23,0	30,0	43,7	60,6	78,9	100,1
380	0,21	1,21	3,6	7,6	13,9	22,4	29,2	42,5	59,0	76,8	97,5
400	0,20	1,18	3,5	7,4	13,5	21,9	28,5	41,4	57,5	74,8	95,0
420	0,20	1,15	3,5	7,2	13,2	21,3	27,8	40,4	56,1	73,0	92,7
440	0,19	1,12	3,4	7,0	12,9	20,8	27,1	39,5	54,8	71,4	90,6
460	0,19	1,10	3,3	6,9	12,6	20,4	26,5	38,6	53,6	69,8	88,6
480	0,18	1,08	3,2	6,7	12,3	19,9	26,0	37,8	52,5	68,3	86,7
500	0,18	1,05	3,2	6,6	12,1	19,5	25,5	37,0	51,4	66,9	85,0
550	0,17	1,01	3,0	6,3	11,5	18,6	24,3	35,3	49,0	63,8	81,0
600	0,16	0,96	2,9	6,0	11,0	17,8	23,2	33,8	47,0	61,1	77,6
650	0,16	0,92	2,8	5,8	10,6	17,1	22,3	32,5	45,1	58,7	74,5
700	0,15	0,89	2,7	5,6	10,2	16,5	21,5	31,3	43,5	56,6	71,8
750	0,15	0,86	2,6	5,4	9,9	16,0	20,8	30,2	42,0	54,7	69,4
800	0,14	0,83	2,5	5,2	9,6	15,5	20,1	29,3	40,7	52,9	67,2
850	0,14	0,81	2,4	5,1	9,3	15,0	19,5	28,4	39,5	51,3	65,2
900	0,13	0,79	2,4	4,9	9,0	14,6	19,0	27,6	38,3	49,9	63,3
950	0,13	0,76	2,3	4,8	8,8	14,2	18,5	26,9	37,3	48,6	61,6
1000	0,13	0,75	2,2	4,7	8,5	13,8	18,0	26,2	36,4	47,3	60,1

Se o mercado tiver uma demanda nas horas pico da máxima capacidade de transporte dos gasodutos, deve ser necessário ajustar a capacidade. Uma boa aproximação para efeitos deste estudo é considerar que a capacidade média é 50% da capacidade calculada.

Na Figura 12, mostra a capacidade corrigida dos gasodutos e na Tabela 11 o diâmetro requerido do gasoduto para atender uma demanda determinada, segundo o comprimento do mesmo.

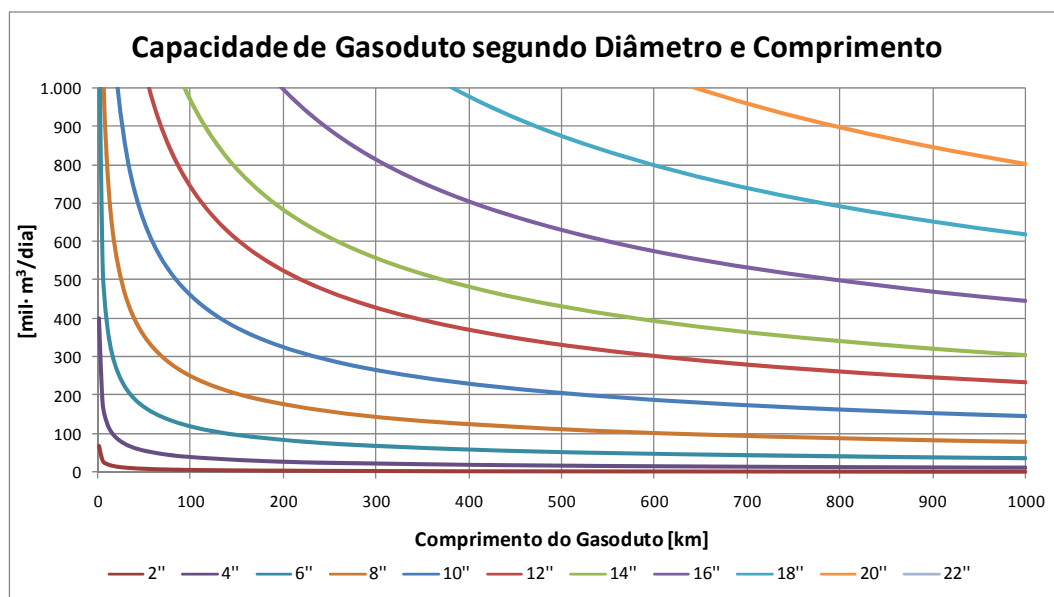


Figura 12: Capacidade de gasoduto segundo diâmetro e comprimento

Tabela 11: Diâmetro nominal de um gasoduto segundo o comprimento e a capacidade

Diâmetros nominais [in]																
L	Capacidade [mil-m³/dia]															
[km]	5	10	50	100	140	200	260	300	360	400	460	500	600	700	800	1000
5	2	2	3	4	4	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8	10
10	2	2	3	4	6	6	6	6	8	8	8	8	8	10	10	10
50	2	3	6	6	6	8	8	10	10	10	10	10	12	12	12	14
100	2	3	6	6	8	8	10	10	10	10	12	12	12	14	14	16
200	3	3	6	8	8	10	10	12	12	12	14	14	16	16	16	18
300	3	4	6	8	10	10	12	12	14	14	14	16	16	18	18	20
400	3	4	6	8	10	12	12	12	14	14	16	16	18	18	18	20
500	3	4	8	10	10	12	12	14	14	16	16	16	18	18	20	22
600	3	4	8	10	10	12	14	14	16	16	16	18	18	20	20	22
700	3	4	8	10	10	12	14	14	16	16	18	18	18	20	20	22
800	3	4	8	10	12	12	14	16	16	16	18	18	20	20	22	24
900	3	4	8	10	12	12	14	16	16	18	18	18	20	20	22	24
1000	3	4	8	10	12	14	16	16	16	18	18	18	20	22	22	24

▪ **Custo de Investimento do gasoduto** → em US\$, que é calculado pela multiplicação do custo unitário de construção de um gasoduto (US\$/km.in) por o diâmetro e comprimento do gasoduto.

$$CI_{duto} = CU_{f(L,D)} \cdot D_{f(L,V)} \cdot L \quad (3.39)$$

Na Tabela 12, mostra-se o custo unitário de construção de um gasoduto em função do comprimento e diâmetro ($CU_{f(L,D)}$) [4, 18]. Para obter o diâmetro se usa a Tabela 11 que esta em função do comprimento e a vazão ($D_{f(L,V)}$).

Tabela 12: Custo unitário de construção de um gasoduto

Custo Unitarios de construção de um gasoduto [US\$/m-in]											
Item	Diâmetro nominal [in]										
ϕ	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$CU_{f(L,D)}$	29,14	24,36	22,77	21,97	21,49	20,61	20,05	19,57	19,16	18,80	18,48

- **Custo de Operação & Manutenção** → em US\$/ano, foi estimado em 5% do custo de investimento do gasoduto, definido como:

$$CO_{duto} = 5\% \cdot CI_{duto} \quad (3.40)$$

3.7.3

Cálculo do Custo de Transporte do Gasoduto

A Tabela 13 exemplifica a forma de cálculo descrita para diferentes valores de distância e demanda.

Tabela 13: Custo de Transporte do Gasoduto

Cálculo do Custo do Transporte do Gasoduto							
Demanda	V	[mil·m ³ /dia]	100			400	1.000
Comprimento do gasoduto	L	[km]	100	400	1.000	100	
Diâmetro do gasoduto	$D_{f(L,V)}$	[in]	6,0	14,0	22,0	10,0	16,0
Custo unitário de construção	$CU_{f(L,D)}$	[US\$/m-in]	22,8	20,0	18,5	21,5	19,6
Custo de Investimento	CI_{duto}	[MMUS\$]	13,7	112,3	406,6	21,5	31,3
Custo de O&M	CO_{duto}	[MMUS\$]	0,7	5,6	20,3	1,1	1,6
VPL das Saídas de Caixa		[MMUS\$]	18,2	149,5	541,3	28,6	41,7
Demanda de Capacidade	V	[mil·m ³ /ano]	36.000				
VPL Demanda de Capacidade		[mil·m ³ /ano]	238.433				
Vida útil	n	[anos]	20				
Taxa de desconto	r	[%]	14%				
Custo de transporte	$Custo$	[US\$/mil·m ³]	76,3	626,8	2.270,1	120,0	174,8
		[US\$/MMBTU]	2,07	16,98	61,51	3,25	4,74