

2

Estudo das Tecnologias de Transporte de Gás Natural

2.1

Introdução

Atualmente, existem quatro alternativas tecnológicas para o transporte de gás natural desde a fonte (do campo de produção, gasoduto ou rede de distribuição) até o mercado (os consumidores dos setores residencial, comercial, industrial, elétrico e transporte), tal como se mostra na Figura 1: (a) gasodutos, (b) transporte com redução de volume como GNC, GNL e HGN¹, (c) conversão em outros produtos (GTL²), (d) conversão para outra forma de energia, como energia elétrica e transmissão por cabo submarino para a costa terrestre (GTW³), e e) transporte do gás como commodity (GTC⁴). [1]

Para nosso estudo serão avaliadas formas de transporte terrestre de gás natural, que basicamente podem ser transportados por gasodutos e caminhões. Os

¹ HGN: Hidrato de Gás Natural. São substâncias sólidas, semelhantes ao gelo; tanto no aspecto visual como em algumas propriedades. São formados pela combinação física de água e moléculas de gás. O transporte do HGN é feito a temperaturas de 15°C e em condições atmosféricas. [2]

² GTL: Gas to Liquids (Gás para Líquidos). É a conversão desse gás em outros produtos (hidrocarbonetos líquidos estáveis), a partir de processos químicos. [2]

³ GTW: Gas to Wire. O processo de Gas to Wire é caracterizado pela conversão da energia do gás em energia elétrica. Posteriormente, ocorre a transmissão da eletricidade gerada para os mercados usando cabos de alta voltagem submersos. É uma tecnologia de transporte do gás, que o utiliza na zona de produção para gerar eletricidade na boca do poço. [2]

⁴ GTC: Gas-to-Commodity. Produtos básicos como o alumínio, vidro, tijolos, cimento e barras de ferro requerem grandes quantidades de energia em sua fabricação. Com o GTC, o gás é convertido para potência térmica ou elétrica, que é depois usado na produção do artigo, que depois é vendido, no mercado aberto. É a energia do gás, o calor através de eletricidade ou a combustão direta, e não os componentes, tal como se descreve para a GTL. [1]

caminhões podem transportar gás natural na forma gasosa ou líquida, dependendo da configuração adotada.

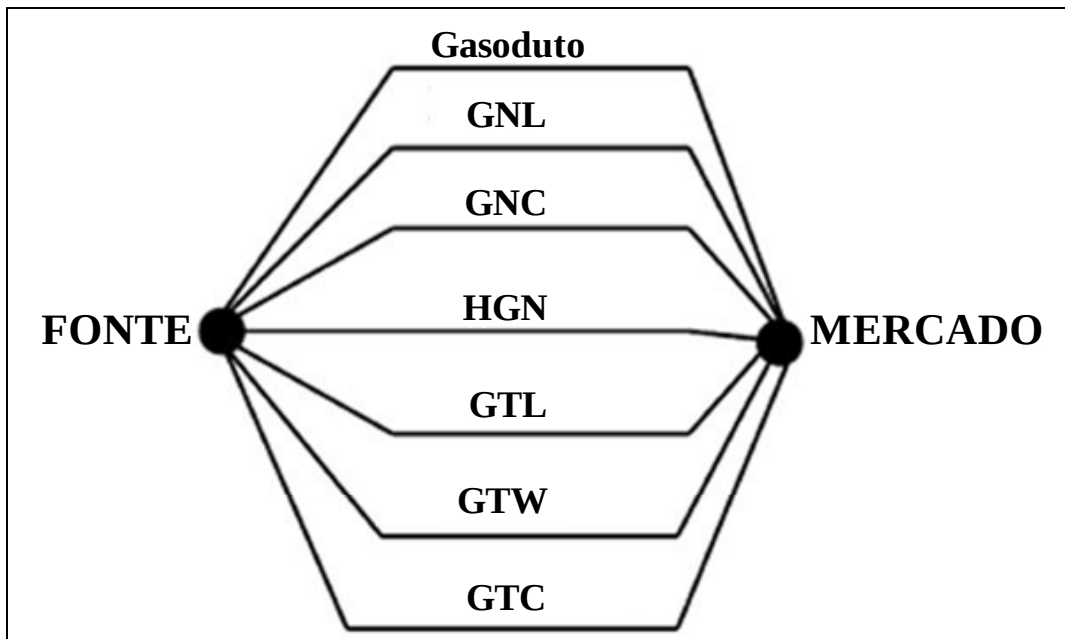


Figura 1: Tecnologias de transporte de gás natural (Fonte: Dave & Thomas)

2.2

Justifica do Gasoduto Virtual

A escolha entre um gasoduto físico e um gasoduto virtual é um tema de custos de capital, distâncias de transporte, volumes de demanda, etc. Está claro que estas comparações dependem muito da situação de cada projeto específico.

A construção de gasodutos físicos, particularmente em terrenos íngremes e áreas urbanizadas, pode representar grandes custos de investimento. Os custos relativamente elevados são compensados pelos elevados volumes de gás transportados através das linhas.

O sistema de transporte com GNC e GNL se usa para evitar a construção de gasodutos em diferentes aplicações:

- Quando se encontrou gás no campo e é necessário fazer provas de produção extensivas.
- Para as pequenas quantidades de gás associado que não pode ser queimado, re-injetado ou o campo não é muito grande, bem seja pela

quantidade de gás ou pelo tempo de produção não é rentável a construção do gasoduto.

- Quando se tem povoações retiradas dos gasodutos e a demanda de gás não justifica economicamente a construção do gasoduto.

Algumas das vantagens do uso do gasoduto virtual já foram mencionadas antes, e são as seguintes:

- Criação do mercado de gás em lugares sem infra-estrutura e/ou distribuição. Permitem fornecer gás natural as populações sem acesso aos gasodutos.
- Antecipação das receitas com a venda do gás natural. Consolidando o consumo e preparando a região para o futuro recebimento do gasoduto convencional, depois de comprovada a sua viabilidade.
- Redução do risco do mercado na expansão do transporte e/ou distribuição. A expansão é proporcional ao crescimento do mercado.
- Antecipação do retorno do investimento na infra-estrutura.
- O equipamento pode ser re-utilizado em outras regiões. Pode ser deslocado para uma nova região à ser desenvolvida.
- Diversificação da matriz energética. Sua flexibilidade para aproveitar o gás natural em sua totalidade, na indústria, no comércio e no setor domiciliar.
- Deslocamento de outros combustíveis líquidos. O uso do gás teria um forte impacto sobre os custos industriais, logísticos e ambientais em decorrência da substituição do óleo diesel, gasolina e GLP por uma fonte primária de mais baixo custo e menores níveis de emissões.

2.3

Gás Natural Comprimido (GNC)

O gás natural é processado e acondicionado em cilindros, à temperatura ambiente e pressão próxima à condição de mínimo fator de compressibilidade, aproximadamente à 220 bar normalmente, segundo ANP [3]. O Gás Natural Comprimido ocupa um volume aproximadamente 268 vezes menor que o volume ocupado nas condições normais. Quanto maior a compressão do gás, menor o volume ocupado e, portanto, maior será a quantidade transportada. Nesse procedimento, o gás pode ser transportado em cilindros capazes de suportar taxas de compressão de 3000 psig ou 200 bar. Este processo, que é apresentado, esquematicamente na Figura 2, requer três etapas: compressão, transporte e descompressão.

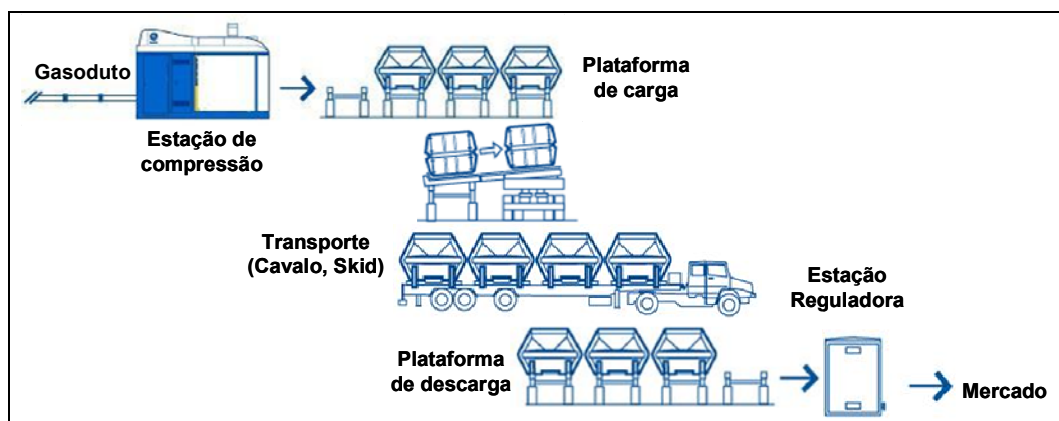


Figura 2: Esquema de gasoduto virtual do GNC.

No sistema de transporte via GNC, primeiramente retira-se o gás natural em um ponto de coleta do gasoduto. Em seguida, o compressor, conectado a um gasoduto, comprime o gás até 250 bar dentro dos módulos de transporte. Tais módulos se encontram sobre plataformas, permitindo o abastecimento e intercâmbio de módulos com o transporte de forma segura e eficiente.

Operacionalmente, os módulos vazios, transportados por caminhões, são substituídos por módulos cheios. Essa troca é realizada por máquinas, minimizando o tempo de carga e descarga dos módulos. O veículo realiza o transporte rodoviário dos módulos a velocidades normais para o transporte de cargas.

Finalmente, ao chegar ao ponto de consumo, os módulos são descarregados sobre plataformas, as quais são projetadas para tempos mínimos de carga e descarga. Após passar por uma estação redutora, os módulos finalmente se conectam à rede de abastecimento doméstico ou industrial.

2.3.1

Unidade de Compressão de GNC

O Conjunto de instalações fixas que comprime o gás natural, disponibilizando-o para o carregamento/enchimento de Veículos Transportadores de GNC, que tenham atendido todas as normas e regulamentos técnicos e de segurança aplicáveis e que possuam área física e sistemas de medição exclusivos para tal fim, segundo ANP [3].

A pressão de entrada nos Veículos Transportadores de GNC depende das características técnicas do ponto de abastecimento (rede de gasodutos). O sistema é mais eficiente na medida em que se possa obter uma maior pressão considerando que o consumo de energia na Unidade de Compressão além de depender do volume a comprimir, é proporcional ao diferencial de pressão entre a entrada e a saída do compressor. [4]

Dos três possíveis pontos de conexão da unidade (gasoduto, rede principal de distribuição e rede secundária de distribuição), não se recomenda conectar na rede de polietileno (rede secundária) porque a pressão de sucção entre 30 e 60 psig é muito baixa e os custos unitários de operação encarecem. Adicionalmente, existe uma taxa a empresa distribuidora, aumentando o preço final do gás desnecessariamente. [4]

Uma conexão direta sobre o gasoduto também tem problemas. Dependendo da localização no gasoduto, a pressão pode variar entre 250 e 1.200 psig, o qual obriga a dispor de compressores de menor pressão de sucção que possam garantir a operação com qualquer pressão do gasoduto; por outra parte, deve-se ter em conta a regulamentação e a taxa por conexões sobre os gasodutos, em algumas partes os direitos podem custar muito a qual afeta substancialmente o preço. [4]

Em consequência, o lugar para conectar a Unidade de Compressão é a tubulação de aço (rede de distribuição principal) de 200 a 250 psig, porque tem as vantagens de alta pressão e com alguns ajustes regulatórios se pode conseguir menor pagamento pelo uso. Esta situação melhora ainda mais se a conexão se realiza imediatamente na saída do “city gate” e não se paga pela não utilização das redes de distribuidor. [4]

A pressão de entrega dos compressores se padroniza em 3.600 psig (250 bar). A capacidade da estação é variável dentro de uma faixa e depende da pressão de sucção. [4]

Para economizar tempo em construção, se encontram unidades compactas e montadas sobre “skids”, são modulares, como se mostra na Figura 3, e inclui filtros de entrada, tanque pulmão, sistema de medição, sistema de refrigeração, sistema de recuperação de condensados, válvulas de fechamento e despressurizado, sistema elétrico, unidade compressora com motor, tabuleiro de controle elétrico, sistema contra incêndio e outros acessórios relacionados. [5-7]



Figura 3: Unidade compacta de compressão (Microbox®, Empresa Galileo)

Segundo a Empresa Galileo [5], o modelo Microbox® tem algumas vantagens, estas são: a) menor área ocupada, devido à sua concepção, reduzidas dimensões e por não requer a instalação do bunker perimetral, gera uma economia importante sobre a superfície ocupada; b) de fácil instalação, por incorporar todos os elementos necessários para uma correta, completa, rápida e segura instalação

além disso, a ausência de obras civis adicionais reduz consideravelmente seus custos de instalação; c) desempenho, o incomparável desempenho, confiabilidade e baixos custos operativos dos compressores permitem brindar vazões que vão desde os 300 Nm³/h até mais de 3.000 Nm³/h sempre utilizando somente uma unidade; d) variedade de compressores disponíveis permite trabalhar com pressões de alimentação de 0,5 até 60 bar, garantindo a vazão requerido pelo posto; e e) consumo elétrico, o compressor adapta seu consumo operativo conforme a curva de demanda ao decorrer do dia. Isto permite economizar até 50% no consumo elétrico. É aplicável a unidades impulsionadas por motores a gás.

2.3.2

Veículos Transportadores de GNC

Depois de comprimir o gás deve se armazenar em recipientes que suportem a alta pressão e que possam ser transportados facilmente. Podem-se utilizar tanques grandes construídos sobre reboques, como caminhão cisterna, mas devido ao diâmetro e às características construtivas requeridas pela operação as altas pressões são muito custosas. Então, admita-se que é melhor dispor de um armazenamento composto de vários tubos que também se montam em forma fixa sobre um reboque. Na Figura 4 se mostra um exemplo deste tipo de veículo da empresa NEOTMgás. [6, 7]



Figura 4: Carreta tubulada, capacidade nominal de 5.040 Nm³ (Tubulão, NEOTMgás)

Também existe no mercado um sistema de armazenamento de cilindros menores, similares aos utilizados nos carros que usam gás natural veicular como combustível, e são montados em módulos, tendo a particularidade de estar independente do veículo transportador. Tal como se mostra na Figura 5, o qual

permite diminuição de lucro cessante quando o armazenamento se encontra localizado na estação compressora ou na estação descompressora. [6, 7]



Figura 5: Tipo de módulos de armazenamento (NEO™gás e Galileo).

Dependendo do fabricante dos módulos de armazenamento o sistema pode ser especializado e utiliza um caminhão específico com módulo, com facilidades para carregar os na Unidade de Compressão e descarregá-los na Estação Reguladora. Por exemplo, a Tecnologia Galileo [5] usa plataformas para tal fim, a Tecnologias NEO™gás [6] pode utilizar o motor do caminhão para bombear o fluido hidráulico e despachar o gás da carreta e enquanto a Tecnologia Fiba [7] usa monta-cargas.

A capacidade por carretas pode variar segundo o modelo do caminhão. Na Tabela 1 são mostrados alguns modelos de fabricantes locais, e podem estar armazenados a pressões de 2.400 psi (165 bar) até 3.600 psi (250 bar) (ou como deseje) e um volume máximo por carreta de 76.000 SCF (2.150 Nm³) até 355.000 SCF (10.050 Nm³).

Tabela 1: Modelos de carretas de armazenamento

Empresa		NEO™gás			Galileo		Fiba
Modelo		Tubulão	SRI 128	GNC Tail	MAT 1300	MAT 1500	Super Jumbo
Características		Possuem Buffer (pulmão)			2 até 4 módulos		10 tubos
Capacidade do Módulo	[Nm ³]	-	-	-	1.300	1.500	-
Capacidade Operacional	[Nm ³]	4.750	5.120	3.400	4.900	5.700	4.096
Pressão Armazenamento	[bar]	220	250	250	250	200	165

O sistema de armazenamento compreende os tanques de aço, a estrutura metálica, manômetro e válvulas.

Por outra parte, segundo Resolução ANP n.º 41 [8], os veículos que transportam módulos de armazenamento de gás natural comprimido devem atender as diretrizes das normas para movimentação de produtos perigosos.

2.3.3

Sistema de Descompressão

No extremo receptor existe uma estação de descompressão que diminuirá a pressão do gás para que possa ser utilizado pelos usuários finais, seja indústria, geração térmica, gás natural veicular ou redes de distribuição, de tal forma que pressão de saída da estação reguladora seja diferente. [4]

O Sistema de Descompressão está composto pelos mesmos equipamentos de uma estação “city gate”, o que se refere à medição, odorização, calefação, controle e regulação de pressão. Também podem ter outros equipamentos adicionais como análises cromatográficas, telecomandos, etc. Na Figura 6 se mostra estações modulares de descompressão oferecidos pela empresa NEOTMgás. A Unidade de Redução de Pressão (RCU), especialmente desenvolvida para manter a vazão constante, para qualquer nível de pressão de consumo oferecido principalmente para o setor industrial, comercial e residencial; e a Unidade de Pressão Hidráulica (HPU), que consegue transferir em menor tempo grandes volumes de gás natural, com vazão e pressão constantes, sem aumento de temperatura. Pelo fato de não ser necessário recomprimir o gás no posto de abastecimento de GNV, os custos de energia são sensivelmente menores. [6]



Figura 6: Estações de descompressão (RCU e HPU, NEO™gás)

No caso da estação de descompressão alimenta uma estação de Gás Natural Veicular (GNV), requer-se uma unidade compressora que volte comprimir o gás dos tanques de armazenamento, dado que ao ir entregando o gás os tanques baixam sua pressão e como os cilindros de GNV dos veículos requerem 3.000 psi (200 bar) deve manter-se uma pressão superior nos módulos de armazenamento para que possa seguir fluindo o gás. [5]

Outra opção oferece a NEO™gás [6] com um sistema de transferência do GNC entre cilindros do caminhão e do posto, conhecido como método Hydrogas. Esta tecnologia permite que o carregamento e o descarregamento do gás depositado em cilindros sejam realizados através de uma bomba hidráulica, que é responsável por impulsionar um fluido que desloca o gás do cilindro. Com a ajuda desta bomba, o carregamento dos cilindros do caminhão, a transferência do GNC dos cilindros do caminhão para os cilindros do posto GNV e a transferência para os cilindros dos veículos GNV, podem ser realizados rapidamente, sem deixar um volume residual importante nos cilindros do caminhão. Mais importante ainda, é que a transferência entre os cilindros pode se realizar a uma pressão constante.

Segundo o estudo feito pelo CREG [4], o tamanho do sistema de descompressão é determinado pela demanda potencial, igual ao valor dos módulos de armazenamento requeridos. Adicionalmente devem ser previstos módulos em “stand by” para evitar desabastecimentos no caso de existir demora na chegada do transporte.

2.4

Gás Natural Liquefeito (GNL)

Fluido na fase líquida em condições criogênicas, composto predominantemente de metano e que pode conter quantidades mínimas de etano, propano, nitrogênio ou outros componentes normalmente encontrados no gás natural, ANP [3]; em outras palavras é o gás natural liquefeito, resfriado a temperaturas inferiores a -160°C . Este processo permite a redução do volume do fluido em cerca de 600 vezes, Dave & Thomas [1].

O processo de transporte com GNL compreende três etapas desde que pega o gás natural até o mercado consumidor, tal como se mostra na Figura 7: Planta de Liquefação, onde se contempla filtrado, secado e resfriamento; Sistema de Transporte, que é feito por meio de tanques criogênicos; Planta de Regaseificação, onde se volta a converter o líquido em gás.

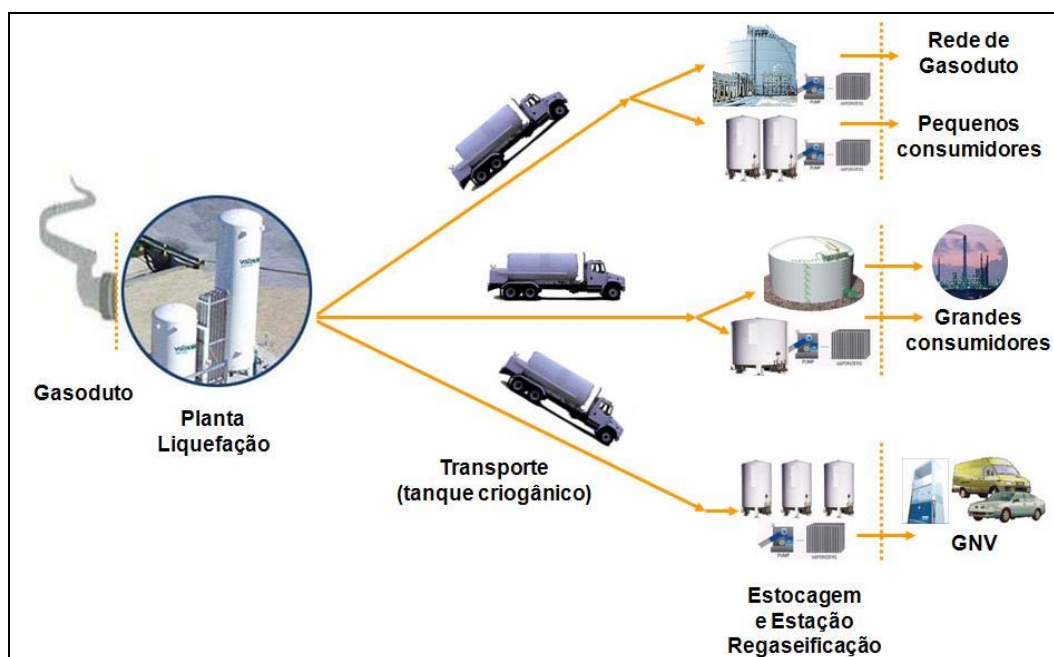


Figura 7: Esquema de gasoduto virtual do GNL.

2.4.1

Planta de Liquefação

As tecnologias para produzir GNL se dividem em dois grupos: de grande escala e de pequena escala. As de grande escala produzem acima de meio milhão

de toneladas por ano do GNL. Uma das tecnologias existente consiste na tecnologia de cascata de resfriamento pela ação de solventes (propano, etileno e metano) para níveis cada vez mais frios, Begazo et al. [9] & Barreiro [10].

Nas plantas de pequena escala, existem diversas alternativas, entre elas a Tecnologia de Cryofuel, que se baseia no resfriamento produzido por um único solvente em lugar de ser uma cascata de solventes como nas plantas grandes. Além desta, duas linhas tecnológicas novas vem surgindo: resfriamento por efeito Joule-Thomson e a tecnologia Tasher (*Thermo Acoustic Stirling Heat Engine and Refrigeration*). O princípio Joule-Thomson consiste, fundamentalmente, em sistemas de troca de calor, expansão e separação líquido-gás. A tecnologia Tasher se encontra em desenvolvimento nos EUA, consistindo na compressão/expansão através de ondas sonoras de alta frequência aplicadas ao gás. [9, 10]

No mercado já tem companhias, como a Hamworthy [12], que desenvolvem plantas de liquidação de gás natural de pequena escala com capacidade de produção a partir de 5 ton de GNL por dia ($6,9 \text{ mil} \cdot \text{m}^3/\text{dia}$) e segundo Barreiro [10], até existem protótipos de capacidade de $1,5 \text{ mil} \cdot \text{m}^3/\text{dia}$ de gás natural desenvolvidos pela Universidade de Curtin em Perth, Austrália.

O GNL se armazena em tanques de paredes duplas à pressão atmosférica. O tanque de armazenagem é em realidade um tanque dentro de outro tanque. O espaço anular entre as duas paredes do tanque está preenchido com um isolante. O tanque interno em contato com o GNL é feito de materiais especializados para o serviço criogênico e a carga estrutural criada pelo GNL. Estes materiais incluem aço de 9% níquel, alumínio e concreto pré-tensionado. O tanque exterior é feito geralmente de aço ao carbono e concreto pré-tensionado. [13]

Alguns provedores de pequenas plantas de GNL no mercado são: Air Products and Chemicals Inc. (EUA), Black & Veatch Pritchard (EUA), Chart Industries Inc. (EUA), CH-IV Cryogenics (EUA), Chicago Bridge & Iron Company (EUA), Chart (EUA), Cryogenics (EUA), Hamworthy KSE (Noruega), KryoPak Inc. (EUA) and Linde (Alemanha). [14]

Embora, uma das desvantagens da tecnologia do GNL consiste no alto investimento, a maior parte do capital total é direcionada para a construção da

planta de liquefação, mas os avanços tecnológicos, dos últimos anos, têm levado à uma diminuição dos investimentos e do custo de operação das plantas de liquefação. [15]

2.4.2

Sistema de transporte

A logística de abastecimento é similar àquele do diesel ou da gasolina, consistindo no recebimento do combustível por caminhões-tanque providos de sistema de refrigeração. Os componentes são mais complexos, pois o GNL deve ser mantido a baixas temperaturas. A transferência de GNL entre containeres é realizada por uma bomba centrífuga, podendo ser submersa ou separada entre os terminais. [13]

Os tanques de gás natural liquefeito para o transporte por carreta são normalmente de dupla parede com isolamento ao vácuo similar a uma garrafa térmica. O GNL pode ser estocado nos tanques criogênicos de transporte por até três dias sem perdas por vaporização. O tanque interior e a interconexão das tubulações estão feitas de aço inoxidável com isolamento com baixa absorção de calor. Os tanques estão feitos para suportar a maioria dos acidentes que podem ocorrer durante o transporte. A capacidade típica de uma carreta é de 40 m³ de GNL (16 toneladas), o que equivale à cerca de 24.000 m³ de gás natural, tal como se mostra na Figura 8. [10, 13, 14, 16]



Figura 8: Caminhão com tanque criogênico (Gás Local)

2.4.3

Sistema de Re-gasificação

O processo de re-gasificação consiste em levar o gás natural novamente a sua fase gasosa e se efetua nos vaporizadores. Além disso, se dá ao gás a pressão com a que ingressará para a rede de transporte pelos gasodutos. [13]

Pode-se instalar um posto abastecido por GNL, que não requer compressores para armazenar o gás natural em cilindros de alta pressão. O GNL é bombeado através de uma bomba criogênica para um vaporizador de alta pressão, que permite transferir o gás diretamente para os cilindros do posto. Uma vez que o posto GNL não requer investimento em capacidade de compressão, o custo de investimento do posto se reduz quando comparado a um posto padrão abastecido por gasoduto, Perrut [14].

2.5

Gasodutos

Os gasodutos transportam gás natural na forma gasosa, sendo do tipo “ponto a ponto”. A operação é simples e segura, envolvendo um pequeno número de conexões.

O esquema de um gasoduto é apresentado na Figura 9, sendo composto por tubulações, estações de compressão, regulador de pressão com medidor de vazão, válvula de bloqueio, estação de supervisão e controle, proteção catódica e revestimento interno e externo, Burman [18].

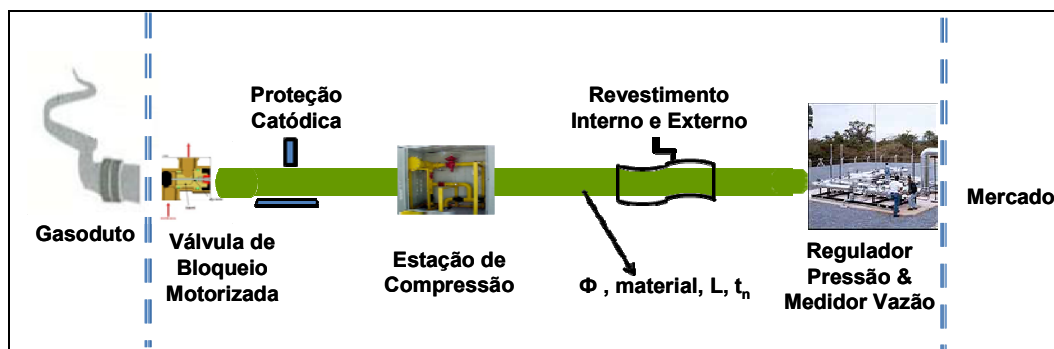


Figura 9: Vista esquemática de um gasoduto.

As principais características físicas dos gasodutos são: diâmetro interno, espessura da parede do duto, comprimento ou extensão. Ao longo da extensão, são instaladas válvulas de bloqueio automáticas, com espaçamento determinado pelas normas (por exemplo: uma válvula de bloqueio a cada 15 km, aproximadamente), com a finalidade de bloquear o gasoduto em caso de rompimentos e manutenção. Nas travessias de rios, lagos e pântanos, também, são instaladas válvulas de bloqueio, Burman [18] & Axpe [19].

Segundo Axpe [19] normalmente, o custo de investimento nas tubulações representa 90% do total. As principais variáveis dos gasodutos são: diâmetro, pressão de operação, distancia e terreno. Outros fatores tais como o clima, os custos de mão de obra, a densidade populacional e os direitos de passagem, podem afetar os custos de construção significativamente.

No entanto, o custo definitivo fica afetado por numerosos fatores, isso não significa que seja impossível fazer uma estimativa geral do que pode custar um gasoduto. O Banco Mundial publica uma regra à que chama Rule-of-Thumb na que oferece uma estimativa inicial que associa só duas variáveis, o diâmetro e o comprimento. Segundo esta regra o custo se situa entre 15 e 30 dólares por cada polegada de diâmetro e por cada metro de comprimento, recomendando inclusive usar 20 dólares para um primeiro cálculo, também se pode usar como referência o custo de gasodutos que se construíram recentemente. [19]