



IBP 1066_05

DETERMINAÇÃO DE VOLUMES EM OPERAÇÃO DE DRENAGEM DE OLEODUTOS

Luís Fernando G. Pires¹, Cláudio V. Barreto², Bruno G. de Silva³

Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Pipeline Conference & Exposition 2005*, realizada no período de 17 a 19 de outubro de 2005, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Pipeline Conference & Exposition 2005*.

Resumo

Nas operações de manutenção de oleodutos ou de seus equipamentos, muitas vezes torna-se necessário o esvaziamento total ou parcial do duto. O planejamento desta operação requer o conhecimento prévio dos volumes drenados nos pontos de manutenção para definição mais precisa dos recursos necessários à remoção do produto. Com este objetivo foi desenvolvida uma ferramenta capaz de determinar os volumes drenados apenas com as informações contidas no perfil de elevação do duto, geralmente importado do GIS. Isto é feito considerando o oleoduto em repouso onde somente as forças de corpo agem no fluido. A planilha eletrônica desenvolvida calcula os volumes drenados em diversos pontos seguindo uma seqüência pré-estabelecida, considerando a influência de um ponto sobre o outro. Para validação do cálculo é realizada uma comparação dos resultados calculados com dois casos reais de operações de drenagem.

Abstract

Usually in the pipeline and equipments maintenance it's necessary the partial or fully drainage of the line. The planning requires the previewed volumes in the drainage points to allocate the available resources to remove the liquid. With this main objective it was developed a numerical tool that is able to calculate the drainage volumes using only the data source from the GIS profile. This is possible if we consider a pipeline at no-flow state where only the gravitational forces can act in the fluid.

The present paper uses a spreadsheet to determine the product volumes based in the drain points sequence and considering no flow boundaries along the pipeline. To validate the volume calculation a comparison is done with the results acquired in two real state drainage operations.

1. Introdução

A determinação de volumes drenados de dutos é de grande utilidade para o setor de manutenção de dutos de petróleo e derivados, principalmente para o planejamento das operações de troca ou manutenção de válvulas intermediárias do duto. Uma outra aplicação do cálculo de volumes drenado serve para indicar a posição mais adequada das válvulas de bloqueio visando minimizar os volumes vazados de produto em caso de rompimento da linha.

O procedimento de cálculo adotado assume que o duto está cheio de líquido, e que o escoamento do fluido é ditado apenas pelo potencial gravitacional. A vaporização é considerada quando a pressão numa determinada região atinge a pressão de vapor. Considera-se que existe equilíbrio termodinâmico uma vez que o duto parte do repouso e que o produto escoar com baixas velocidades. Com isso o problema pode ser resolvido determinando o fluxo potencial gravitacional em relação a um dado ponto (dreno) usando os dados do perfil de elevação do duto.

Neste estudo, os dados de entrada são apresentados na forma de tabelas de pontos com as informações paramétricas do duto (posição, altura, diâmetro, espessura). Por questão de conveniência utilizou-se uma planilha de cálculo em Excel com macros para seleção dos pontos de drenagem, cálculo dos volumes e apresentação dos resultados.

¹ D.Sc. – SIMDUT / PUC-Rio

² Engenheiro de Pesquisa – SIMDUT / PUC-Rio

³ Engenheiro de Pesquisa – SIMDUT / PUC-Rio

2. Operação de Drenagem para Remoção de Válvulas

Ao longo da maioria dos dutos existem válvulas de bloqueio que podem ser acionadas em caso de vazamento ou para manutenção da faixa do duto. Quando estas válvulas precisam de manutenção é providenciado o esvaziamento parcial do duto feito, geralmente, em duas etapas. Na primeira etapa é escoado o produto por gravidade para os tanques nas extremidades. Na segunda etapa é realizada a drenagem das válvulas para carretas, seguindo uma ordem estabelecida de drenagem, onde antes de prosseguir para o dreno posterior todo volume no dreno atual deve ser drenado. A drenagem local por mangotes para carretas é realizada através de conexões flangeadas posicionadas de topo do duto, localizados a montante e a jusante da válvula de bloqueio (Figura 1). A Figura 2 apresenta o flange a montante da válvula onde é instalado um manômetro utilizado para acompanhar a queda de pressão estática.



Figura 1. Drenagem usando mangote de abastecimento



Figura 2. Manômetro instalado no by-pass

3. Procedimento de Cálculo

A metodologia de cálculo utilizada é similar ao procedimento adotado pela Agência de Proteção Ambiental Americana – EPA para estimar riscos de vazamentos e foi empregada por esta agência no oleoduto Longhorn operado pela WES (1999). Antes do início do cálculo deve-se importar a lista de pontos que compõe o perfil de elevação do duto. Geralmente estes dados são levantados a partir das linhas topográficas do GIS ou do banco de dados de um “pig” instrumentado. Um exemplo de lista de pontos é apresentado na Tabela 1. Em seguida deve-se estabelecer a ordem de drenagem e informar os limites extremos do trecho que será drenado.

A ordem ou seqüência de drenagem pode interferir no volume retirado em cada dreno. A Figura 3 compara duas seqüências de drenagem para um mesmo perfil, onde as setas indicam os elementos de volume que contribuem para cada dreno. Nota-se que o dreno A interfere nos volumes retirados nos drenos adjacentes B e C, e que o dreno B interfere no dreno C. Um dreno é completamente isolado de outro quando não existem elementos (setas) em comum entre eles. Com a seqüência montada, inicia-se o procedimento de cálculo para cada dreno em três etapas: preparação, cálculo de volumes discretos e integração dos volumes.

I. Preparação do cálculo (lista de pontos)

Na primeira etapa são fixados os limites do cálculo em função do ponto mais alto em cada direção, ou por válvulas de bloqueio que serão fechadas para isolar o trecho. Para isso devem-se conhecer as condições iniciais em cada válvula, ou seja, quais válvulas intermediárias estão fechadas a montante e a jusante de cada ponto de drenagem.

II. Cálculo dos volumes discretos (lista de elementos)

Esta etapa realiza o cálculo da contribuição volumétrica dos lados montante e jusante em relação a um ponto de drenagem. Um processo iterativo é estabelecido em cada lado do dreno para criação dos elementos de volume a partir do ponto de drenagem até atingir o ponto mais alto. Tendo o dreno como referência, cada elemento possui um ponto de origem e outro destino que podem ser pontos de inflexão ou pontos de equilíbrio. Os pontos de inflexão podem ser positivos (picos) ou negativos (vales), como visto na Figura 4. Os pontos de equilíbrio mostram os locais onde as colunas de líquido se igualam e deixa de existir potencial gravitacional. Na maioria dos casos o ponto de equilíbrio não é afetado pela pressão de vapor do produto, pois a diferença de altura atribuída a vaporização é menor que a variação de altura do relevo. Os elementos de volume representados como setas na Figura 4, recebem o status de “vazio” ou “cheio” em função da sua posição relativa ao ponto de equilíbrio. Quando os pontos do elemento estão acima ou no mesmo nível do ponto de equilíbrio, o elemento é marcado como “vazio”,

pois contribuem para o volume a ser drenado, em caso contrário é marcado como “cheio”. Os volumes entre os pontos de origem e destino de cada elemento são integrados para serem utilizados na próxima etapa do cálculo.

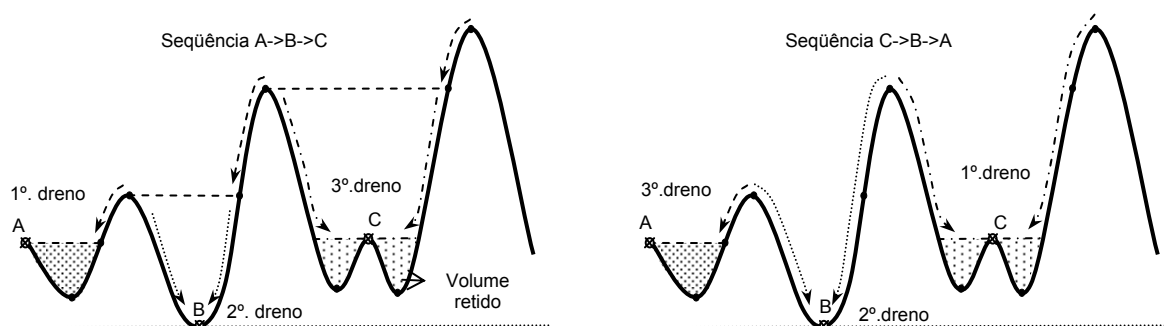


Figura 3. Influência da seqüência de drenagem nos volumes retirados por dreno

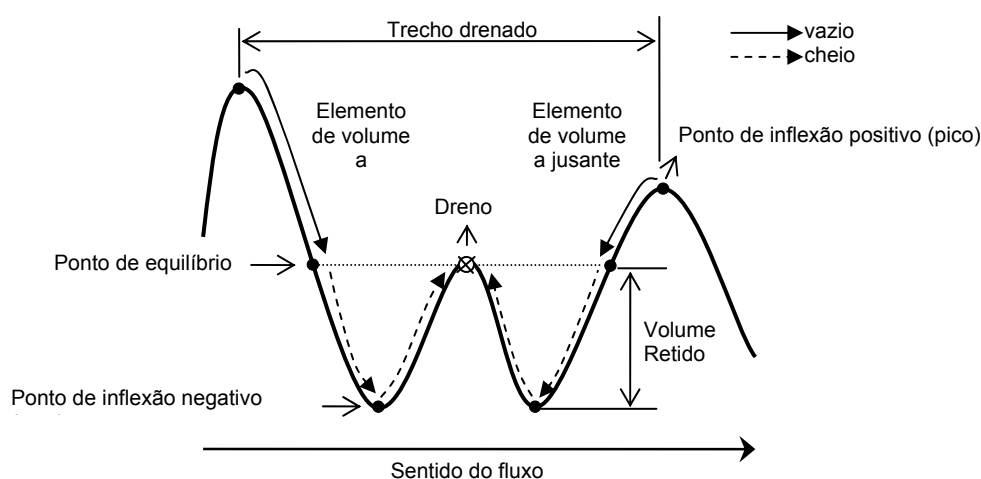


Figura 4. Trecho de duto drenado por gravidade

III. Integração dos volume (volume total drenado)

Na última etapa ocorre o somatório dos elementos de volumes marcados como “vazios” para cada um dos lados. As parcelas de volume montante e jusante são somadas para obtenção do volume total drenado. Pela lógica do processo, a operação é seqüencial e o próximo dreno somente poderá retirar produto dos elementos que ainda estão com o status “cheio”, por este motivo torna-se necessário armazenar a lista de elementos da segunda etapa para determinação do volume retirados nos outros drenos.

3.1. Exemplo de Drenagem para Tanque

Este exemplo auxilia no entendimento do procedimento de cálculo proposto, onde num perfil simplificado o cálculo pode ser resolvido sem a necessidade de ferramentas computacionais. A Figura 3 ilustra o esquema de drenagem para um tanque aberto para a atmosfera localizado na extremidade inferior do duto. Neste exemplo é desprezada a influência da variação do nível do tanque. Os dados de entrada do problema são listados na Tabela 1. Por convenção as cotas (z) são dadas em relação ao nível do mar e a posição corresponde à distância percorrida (s) pelo duto como ilustrado na Figura 5. A variação da seção transversal ao longo do perfil é passada através da coluna que informa o diâmetro interno. Nota-se a partir do perfil de elevação do duto que não é possível drenar todo o volume do duto para o tanque, devido à existência dos pontos de inflexão negativa (3, 6, 8). A Tabela 2 mostra a lista de elementos obtidos durante a segunda etapa do procedimento de cálculo. O volume total drenado é dado pela soma dos elementos marcados como “vazio” sendo igual a 3304m^3 .

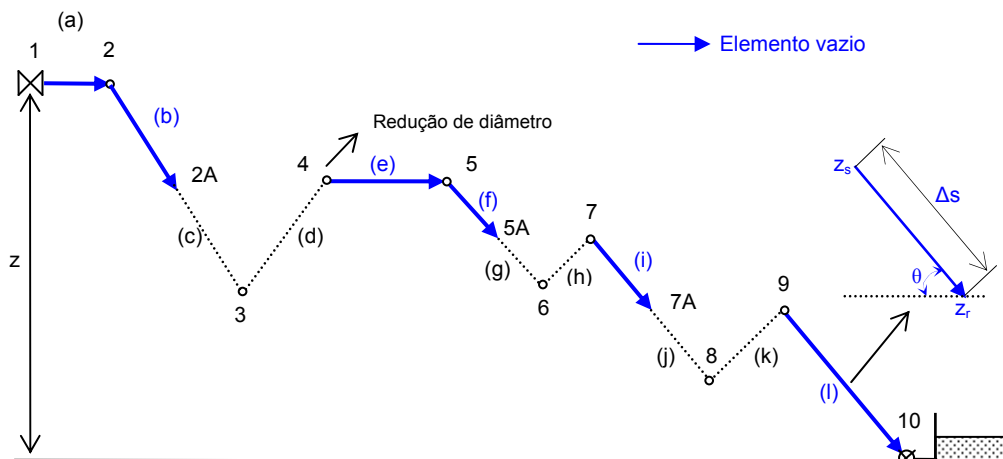


Figura 5. Esquema de drenagem para tanque

Tabela 1. Lista de Pontos

Ponto	s - distancia (km)	z - cota (m)	Diâmetro Interno (mm)
1	0	300	482,6
2	1	300	482,6
3	10	150	482,6
4	14	200	482,6
5	18	200	381
6	22	160	381
7	25	180	381
8	30	100	381
9	32	120	381
10	40	0	381

Tabela 2. Lista de Elementos (2ª. etapa)

Elemento	Ponto origem	Ponto destino	Comprimento (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Estado
a	1	2	1000	0,18292	182,9	Vazio
b	2	2A	6000	0,18292	1097,5	Vazio
c	2A	3	3000	0,18292	548,8	Cheio
d	3	4	4000	0,18292	731,7	Cheio
e	4	5	4000	0,1140	456	Vazio
f	5	5A	2000	0,1140	228	Vazio
g	5A	6	2000	0,1140	228	Cheio
h	6	7	3000	0,1140	342	Cheio
i	7	7A	3750	0,1140	427,5	Vazio
j	7A	8	1250	0,1140	142,5	Cheio
k	8	9	2000	0,1140	228	Cheio
l	9	10	8000	0,1140	912	Vazio

4. Resultados de Operações de Drenagem

4.1. Operação de Drenagem no Oleoduto OSRIO (Planilha / Dados de Campo)

O primeiro estudo usando a planilha foi realizado num trecho do poliduto OSRIO, que transporta produtos claros (gasolina, diesel e álcool) entre São Paulo e Rio de Janeiro. As válvulas que receberiam manutenção estão localizadas no trecho entre as refinarias REVAP e REDUC. O duto possui diâmetro de 18" no trecho entre a refinaria

REVAP e a estação de JAPERI e, a partir daí, o diâmetro reduz para 12", até sua chegada na REDUC. O volume no trecho é de 41556 m³ quando o duto está completamente cheio. A operação de drenagem tem início com a depressurização do duto através da abertura das válvulas nas extremidades do duto até atingir a pressão atmosférica, a fim de retirar o produto para os tanques nas refinarias. Em seguida é realizada a drenagem das válvulas intermediárias do duto na ordem listada na Tabela 4, começando por LORENA e terminando na válvula do scraper em JAPERI. Os volumes potenciais e drenados estão expostos na Tabela 3. O volume potencial representa o volume máximo possível de ser retirado devido ao potencial gravitacional do ponto. Os resultados calculados e reais medido em campo foram comparados, sendo o erro relativo a razão entre o volume drenado calculado e o volume drenado em campo. No campo, para diminuir o tempo de operação, foi realizada a drenagem simultânea das válvulas após a depressurização do duto. Como nestes trechos, um ponto de drenagem interfere no outro, isto pode aumentar as diferenças entre os valores calculados e os obtidos no campo.

Tabela 3. Comparação entre os resultados OSRIO

Ponto (km)	Posição (km)	Cota (m)	Volume Potencial (m ³)	Volume Drenado Calculado (m ³)	Volume Drenado em Campo (m ³)	Erro Relativo (%)
REDUC	359,580	1,017	376	376	480	-21,6
LOREN A	134,445	589,239	250	211	217	-2,7
ESVOL	265,956	421,7	462	236	228	3,5
V50	301,292	95,8	431	141	170	-17,0
JAPERI	319,400	31,874	429	71,4	107	-33,0

4.2. Operação de Drenagem no Oleoduto ORBEL I (Planilha / Dados de Campo)

O poliduto ORBEL I faz parte da faixa de dutos que liga a Refinaria de Gabriel Passos (REGAP) em Minas Gerais até o terminal de Campos Elíseos (TECAM) no Rio de Janeiro. O duto ORBEL I possui diâmetro de 18" e transporta produtos claros (diesel, nafta, LCO). Nesta operação, apenas uma parte do duto foi depressurizado, o trecho que vai da refinaria até a estação da Mantiqueira – ESMAN. Neste trecho o comprimento é de 184,310 km com volume hidráulico de 28518 m³. De forma análoga a operação do OSRIO, foi realizada a drenagem previa do produto para os tanques da refinaria até atingir a pressão atmosférica. Em seguida, foi realizada a drenagem nas válvulas intermediárias na ordem descrita pela Tabela 4. Esta tabela apresenta a comparação entre os volumes drenados calculados e obtidos no campo. Nesta operação, a seqüência de drenagem das válvulas intermediárias não interfere no resultado. Este comportamento depende exclusivamente do perfil e dos pontos que serão drenados. Na válvula V22 foi obtido um erro relativo de 80% que pode ser o reflexo da incerteza do perfil topográfico e do pequeno volume retirado. Contudo, mesmo nesta válvula o volume calculado é bem inferior ao volume potencial de cerca de 120 m³.

Tabela 4. Comparação entre os resultados ORBEL I

Ponto (km)	Posição (km)	Cota (m)	Volume Potencial (m ³)	Volume Drenado Calculado (m ³)	Volume Drenado em Campo (m ³)	Erro Relativo (%)
REGAP	0,000	820,9	560	559,4	650	-13,9
V28	40,441	810,74	693	205,4	223	-7,9
V26	70,929	865,34	576	122,9	173	-21,7
V23	118,787	1110,68	184	0	0	0
V22	135,107	1141,43	120	16,2	9	80

5. Determinação dos locais para instalação de válvulas

O cálculo do volume vazado por gravidade também pode ser utilizado para avaliar o risco operacional do duto através da otimização do posicionamento das válvulas de bloqueio intermediárias. O cálculo do potencial de volume vazado quando o oleoduto está em operação é um estudo mais complexo e depende de outros fatores além da topografia, como por exemplo: a duração de parada do bombeio e o tempo para fechamento das válvulas intermediárias do duto, caso existam. A automação das válvulas de bloqueio pode diminuir o volume vazado em oleodutos em operação de acordo com Mo. Mohitpour(2004). Porém, antes de efetuar o posicionamento das válvulas automáticas,

deve-se fazer um estudo dos transientes hidráulicos para determinação dos tempos de fechamentos mais adequados. Outro estudo que avalia o risco operacional do duto foi realizado por Weber(2000) para a TRANS ALASKA. Neste estudo o potencial de volume vazado é a soma de duas parcelas de volume: o volume drenado por gravidade mais a o volume bombeado em 02 horas, considerado este o tempo padrão de reação para fechamento de válvulas manuais no trecho.

Um método para estimar os melhores locais para instalação das válvulas pode ser desenvolvido através do potencial de volume vazado, de acordo com o procedimento proposto no item 3 para cada ponto do perfil do duto, desconsiderando vazamento simultâneo. O resultado deste processo é o perfil de volume potencial para qualquer ponto ao longo do duto. De posse deste perfil é possível avaliar quais pontos possuem maior potencial de vazamento e se existem válvulas próximas para interromper o fluxo. O gráfico da Figura 6 apresenta este resultado para o oleoduto ORBEL I que possui 30 válvulas intermediárias. Neste gráfico são exibidas simultaneamente duas curvas: o perfil de elevação (com cerca de 16605 pontos) e o perfil de volume vazado obtido pelo cálculo, sem considerar a atuação das válvulas intermediárias. Conclui-se a partir do gráfico que o volume que pode vazar (potencial de vazamento) é semelhante ao inverso do perfil de elevação (potencial gravitacional), e também que o ponto mais alto do perfil coincide sempre com o ponto de vazão nula. A Figura 7, mostra o perfil de volume para a região do detalhe, que representa o trecho limitado por duas válvulas, com uma outra numa posição intermediária. A válvula intermediária situa-se no km 266,6 sendo que os máximos volumes vazados são de 783 m³ a direita e de 917 m³ a esquerda. Observa-se que a colocação da válvula intermediária no ponto inferior do relevo (km 270,9) deste trecho reduz o volume máximo vazado a direita para 571,3 m³ não alterando o volume a esquerda, como ilustrado na Figura 8. Vale lembrar que a posição definitiva das válvulas não leva em consideração somente o potencial de risco de vazamento, mas sim outros fatores como o tipo de solo na região, proximidade de rios e canais e também a condição de acesso aos locais.

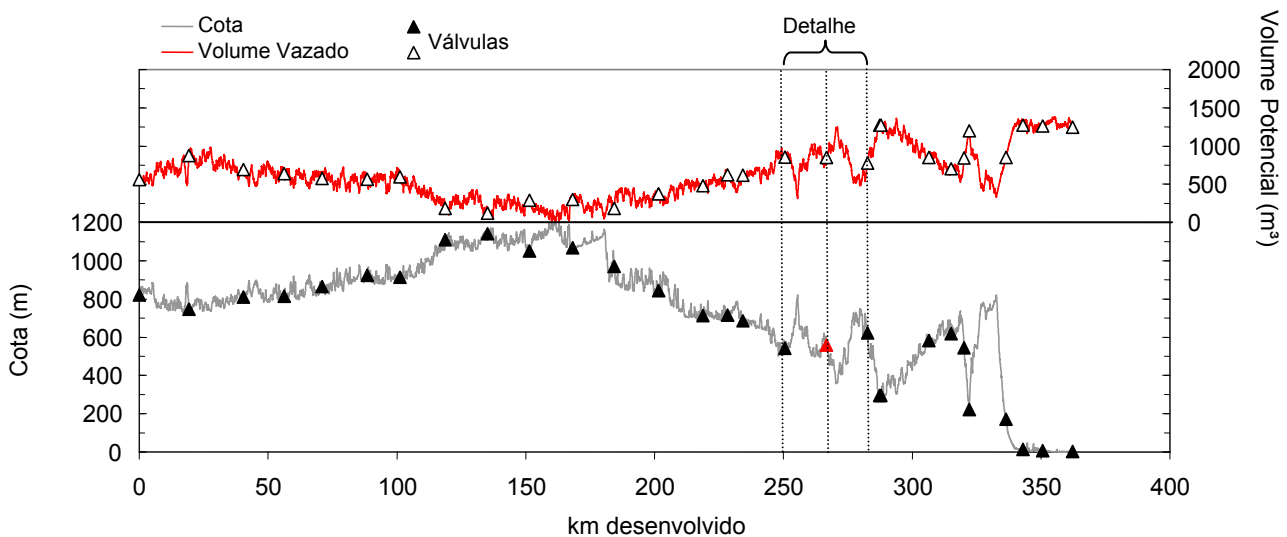


Figura 6. Perfil de Elevação e Volume Vazado para todos os pontos do perfil

6. Conclusão

A planilha de cálculo desenvolvida tem como finalidade principal auxiliar no planejamento de operações de drenagem de dutos. Este cálculo, que em muitas situações era realizado de forma manual, pode ser automatizado e diversas estratégias de drenagem podem ser simuladas de forma rápida e confiável. A planilha fornece ainda um excelente indicativo do perfil de potencial de volume de vazamento no duto. Os erros encontrados entre os valores calculados e os obtidos em campo podem estar associados ao processo de medição dos volumes retirados no campo. Outras variáveis como incertezas no perfil e aproximações utilizadas no cálculo podem contribuir para esta divergência. Desta forma, é necessário o acompanhamento de outras operações tendo em vista elevar a precisão dos resultados.

7. Agradecimentos

Os autores desejam agradecer a TRANSPETRO Petrobrás Transportes S.A. pela colaboração técnica indispensável para a execução deste trabalho.

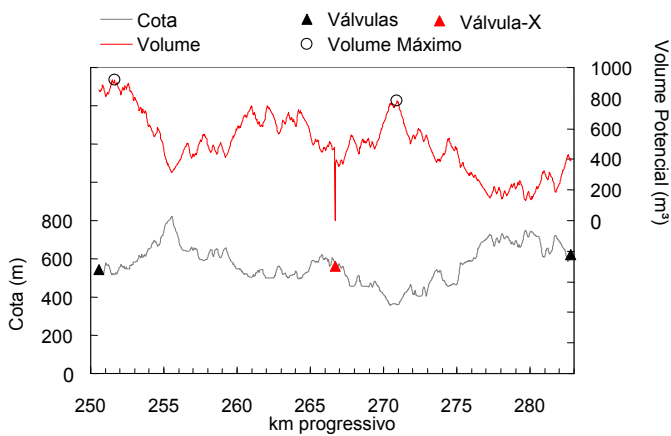


Figura 7. Perfil de volume do lado direito da Válvula X

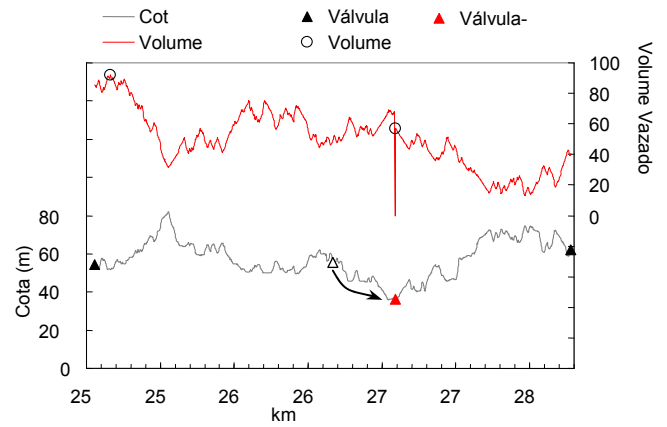


Figura 8. Perfil de volume do lado direito com a válvula X na nova posição (km 270,9)

8. Referências

- Williams Energy Services. *Longhorn Pipeline System - Overall Pipeline Risk Assessment. Procedures for Calculating Drainage from Pipeline*. Appendix 6D. EPA Documents. 1999.
- Mo. Mohitpour, et al. *Valve automation for oil pipeline safety*. Proceedings of International Pipeline Conference. Number IPC04-0022, 2004.
- Weber, Bernie. *TRANS ALASKA Pipeline System Mainline Block Valve Risk Assessment*. OGPT-10263 ETCE/OMAE 2000.