

XII-120 - APRISIONAMENTO DE AR EM TRECHO DESCENDENTE DE CONDUTO FORÇADO POR GRAVIDADE: ESTUDO DE CASO.

Marcos Rocha Vianna⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da UFMG. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Professor do Programa de Mestrado em Sistemas Construtivos da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC (FEA/FUMEC). Engenheiro consultor.

Débora Salomé Möller

Acadêmica de Engenharia Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC (FEA/FUMEC).

Endereço⁽¹⁾: Rua Cobre, 200 - Bairro Cruzeiro - Belo Horizonte – MG - CEP: 30.310-190 – Brasil – Tel: 31 3228-3000 – e-mail: mrvianna@fumec.br

RESUMO

Estudou-se o caso de uma tubulação em que ocorre o aprisionamento de ar num ponto de trecho descendente em que ocorre mudança da declividade: inicialmente mais leve para mais acentuada logo em seguida. Esse aprisionamento reduziu a capacidade de transporte da tubulação, tornando-a inferior à calculada no projeto. O problema pode ser resolvido através da instalação de dispositivo ventilador nesse local. O trabalho disserta sobre o aprisionamento de ar em condutos forçados por gravidade, apontando suas causas e indicando soluções para sua eliminação. Por fim, discute o caso específico estudado e apresenta a solução indicada para solucionar o problema específico.

PALAVRAS-CHAVE: Aprisionamento de ar, Condutos forçados, Dispositivos de ventilação.

INTRODUÇÃO

A possibilidade da presença de ar em condutos forçados conduzindo água deve ser sempre considerada pelo projetista desse tipo de condutos. É importante ter em mente que antes do tubo ser enchido, ele já se encontrava cheio de ar. Além disto, a água sempre traz consigo certa parcela de ar dissolvido. Quanto maior a pressão, maior é a concentração de saturação do ar na água. Pontos altos constituem os locais naturais para o aprisionamento do ar que já se encontrava na tubulação antes de ser enchida com água. Ao mesmo tempo, eles são os locais naturais para o escape do ar dissolvido, já que, nesses pontos, a pressão se torna menor (menor pressão significará menor capacidade de dissolução de ar). Finalmente, o ar pode se incorporar à água em locais de maior turbulência, e ele tenderá a sair da água em locais mais tranquilos.

Falvey (1980) apresenta um gráfico, reproduzido na Figura 1, que mostra como determinar o fluxo da mistura água e ar em trechos horizontais. Para utilizá-lo, calcula-se os termos indicados na abscissa e ordenada, cujos termos são listados a seguir.

Um primeiro passo importante para determinação dos procedimentos que serão tomados é saber analisar que tipo de bolha está presente na tubulação. As características das bolhas dependem de vários fatores, como:

G_g = velocidade da massa de gás, kg/(m².s)

G_l = velocidade da massa do líquido, kg/(m².s)

μ = viscosidade dinâmica do líquido, Pa.s

ρ_g = densidade do gás, kg/m³

ρ_l = densidade do líquido, kg/m³

ρ_a = densidade do ar (para $p = 101,3$ kPa e $T = 20$ °C: $\rho_a = 1,20$ kg/m³)

ρ_w = densidade da água (para $p = 101,3$ kPa e $T = 20$ °C: $\rho_w = 988$ kg/m³)

A partir dessas características, são determinados os parâmetros:

$$\lambda = \text{razão de densidade} = \left[\left(\frac{\rho_g}{\rho_a} \right) \left(\frac{\rho_l}{\rho_w} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\psi = \text{parâmetro de fluxo multicomponente} = \left(\frac{\rho_w}{\rho_l} \right) \left[\mu \left(\frac{\rho_w}{\rho_l} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

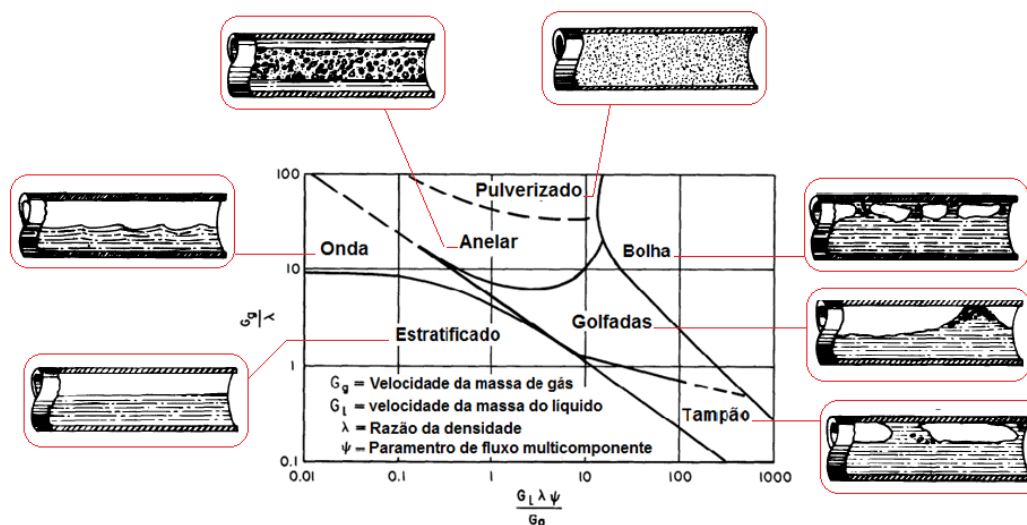


Figura 1: Tipos de fluxo em condutos horizontais, segundo Falvey (1980).

As características de cada tipo de fluxo aí indicadas são descritas a seguir.

- Fluxo de bolhas: bolhas são formadas no topo da tubulação. Nesse caso as velocidades da água e do ar são iguais.
- Fluxo tampão: A vazão de ar aumenta, juntando as bolhas, formando então um “tampão” no topo da tubulação.
- Fluxo estratificado: Existe uma linha de separação entre as superfícies da água e do ar.
- Fluxo de ondas: O aumento da vazão de ar durante o escoamento provoca a formação de ondas.
- Fluxo com golfadas: A amplitude da onda é maior que o topo da tubulação, assim a água escoar colidindo com o teto da tubulação. Esse efeito pode provocar danos à tubulação. A velocidade de escoamento do ar é maior que a do líquido.
- Fluxo anelar: Para vazões de ar muito altas, a água passa a escoar junto às paredes do tubo, e o ar escoar em alta velocidade no eixo da tubulação.
- Fluxo pulverizado: Para vazões de ar muito elevadas, o filme anelar é misturado com a água junto às paredes e ambos são escoam juntos.

Dispositivos ventiladores devem ser instalados em todos os pontos altos da tubulação, por serem locais para os quais o ar tenderá migrar (VIANNA, 2008). Entretanto, outros locais também devem ser considerados, como se verá a seguir.

A Figura 2, apresentada por Lescovich (1972), sugere onde instalar esses dispositivos num conduto forçado por gravidade. Observe que o autor toma como referência a linha piezométrica para localizar esses pontos.

O mesmo autor afirma que se a tubulação em questão apresentar baixa declividade e grande extensão, as bolhas tenderão a crescer e deixarão de ser arrastadas pelo fluxo. Em tais casos, ele recomenda que os dispositivos conservem entre si distâncias máximas variáveis entre 500 e 900 metros.

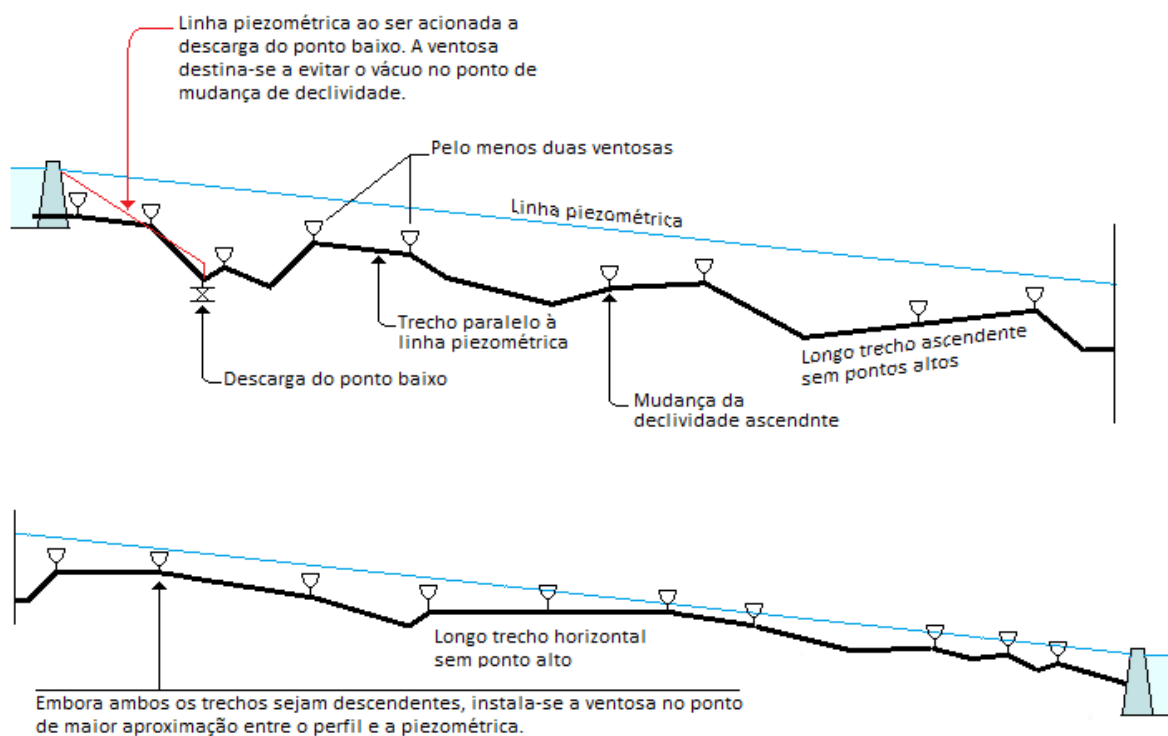


Figura 2: Sugestão de localização das válvulas de liberação de ar em tubulações típicas, segundo Lescovich (1972).

Algumas orientações práticas, interessantes para o projetista de condutos forçados, podem ser encontradas na literatura técnica. Entre elas, destacam-se as apresentadas pela Iplex Pipelines (2014). Segundo esse órgão, dispositivos ventiladores devem ser previstos nas situações a seguir, entre outras.

- Quando o trecho de tubulação:
 - a) Segue paralelo à linha piezométrica;
 - b) Apresenta longa extensão horizontal. Ventilações de maior capacidade deverão ser instaladas no início e no final desses trechos, enquanto que ventilações de menor capacidade deverão ser instaladas a cada 500 – 1000 m.
- Nos locais em que ocorrem variações abruptas nas declividades dos trechos, tanto ascendentes quanto descendentes, uma ventilação de pequeno calibre deverá ser suficiente.
- Ao longo de trechos ascendentes extensos, ventilações de maior capacidade deverão ser instaladas a cada 500 – 1000 m.
- Ao longo de trechos descendentes extensos, ventilações do tipo de duplo efeito (ou VTF, como são conhecidas no jargão técnico brasileiro) deverão ser instaladas a cada 500 – 1000 m.
- Na extremidade de jusante de válvulas instaladas em canalizações-tronco, ou em ambas as extremidades (montante e jusante) se o sentido de fluxo na canalização for possível em ambos os sentidos.
- Em canalizações de maior diâmetro (e.g. $D = 600$ mm ou maior), deve-se considerar a possibilidade de ocorrência de diferentes condições operacionais. Por exemplo, quando essas condições implicarem no escoamento de vazões muito inferiores às de projeto, ressalto hidráulico poderão se desenvolver nos trechos em que as canalizações operarem parcialmente cheias (isto é: como condutos livres, ou canais).

A Figura 3 mostra a possibilidade de formação do ressalto hidráulico no interior do conduto forçado e a rede ventiladora instalada sobre ele para assegurar a adequada expulsão do ar aprisionado.

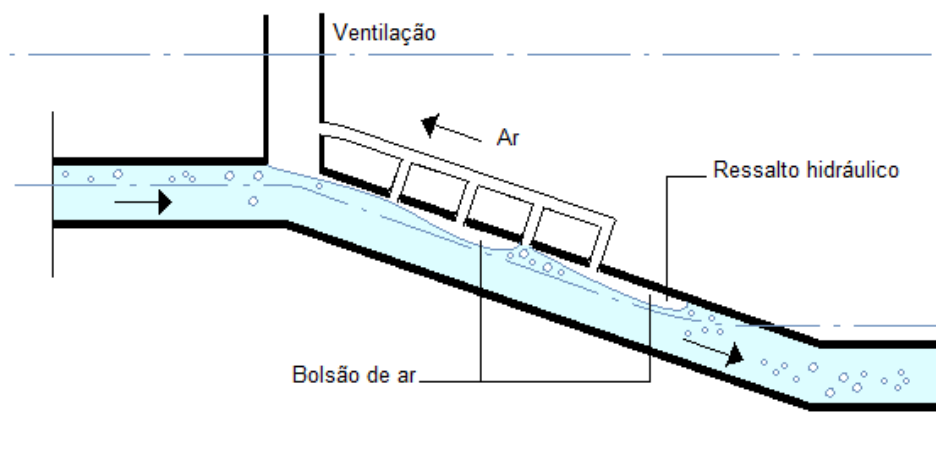


Figura 3: Ressalto hidráulico no interior do conduto forçado e rede ventiladora recomendada: desenho esquemático, segundo Falvey (1980).

A Figura 4 detalha um caso particular em que o transporte e o aprisionamento de ar poderão ocorrer.

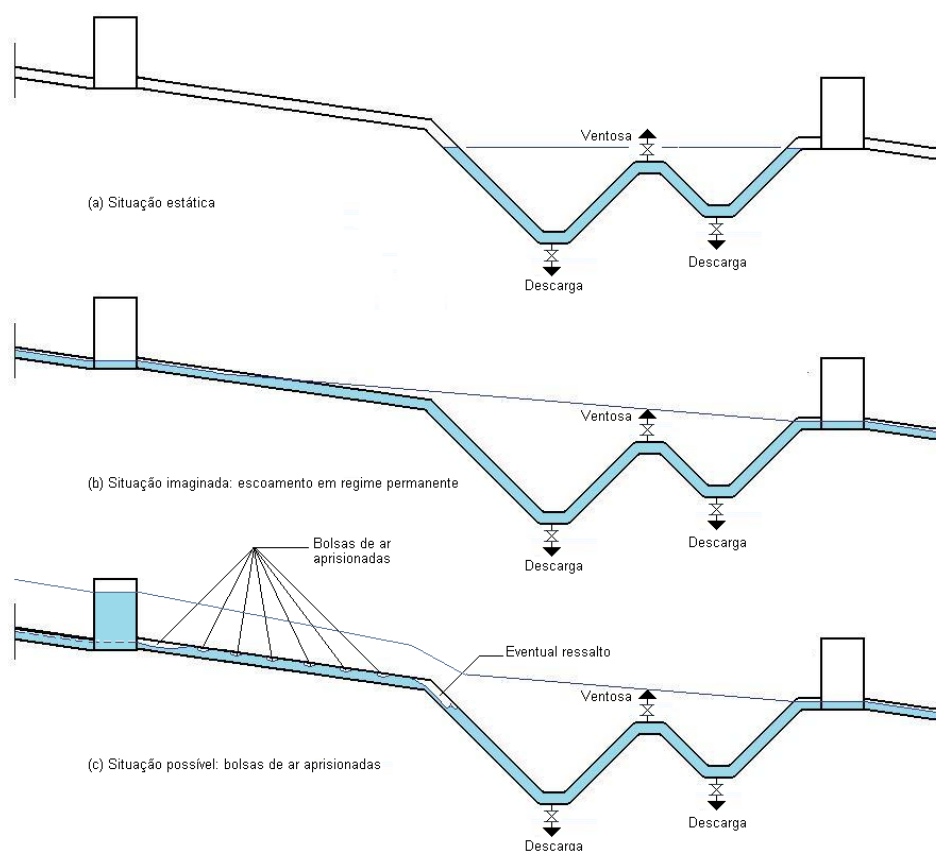


Figura 4: Conduto forçado por gravidade: situação em que o aprisionamento de ar poderá ocorrer.

Observando-a, verifica-se a sequência de eventos descrita a seguir.

- Na situação (a), correspondente à vazão nula (estática), a linha piezométrica é horizontal. A ventosa permanece pressurizada, da forma desejável. O primeiro trecho descendente da tubulação apresenta dois trechos distintos: inicia-se com declividade menor e, após certa

extensão, essa declividade é acentuada. Observa-se que o trecho em que ocorre essa variação encontra-se acima da piezométrica e, portanto, está cheio de ar.

- Na situação (b), o regime permanente estabeleceu-se imediatamente; um primeiro cálculo hidráulico permitiria então fixar a linha piezométrica do modo mostrado na figura correspondente. Observa-se que todo o ar anteriormente existente no trecho descendente foi expulso através da região situada sobre a superfície livre e deixou a tubulação através de sua entrada (caixa de montante).
- Na situação (c), o regime permanente estabeleceu-se de modo traumático: a água inicialmente transportada pelo trecho de menor declividade “verteu” sobre a superfície da água que se encontrava parada no primeiro trecho e criou um bolsão de ar aprisionado no local em que a declividade variou. Esse estrangulamento afogou todo o trecho de montante, criando bolsões de ar que poderão movimentar-se para montante ou para jusante, conforme as velocidades médias de escoamento da água e das bolhas de ar. Novas restrições ao escoamento surgirão, em virtude da redução da seção de escoamento. Em consequência, a linha piezométrica torna-se mais inclinada nesse trecho e o afogamento da caixa de montante (e, eventualmente, seu transbordamento) poderá ocorrer.

ESTUDO DE CASO

Uma situação real vivida por uma empresa projetista foi trazida para o exame dos autores. Tratava-se de um conduto forçado destinado ao transporte de esgoto sanitário que apresentava capacidade de transporte inferior à calculada em projeto. As discussões a esse respeito conduziram à hipótese de que essa redução fosse devida ao aprisionamento de ar no interior desse conduto.

De fato, conforme estudado, a admissão e o consequente aprisionamento de ar em trechos descendentes de condutos forçados por gravidade pode levar à redução da seção de escoamento e, em consequência, à redução de sua capacidade de transporte de água.

Foi analisado o traçado da canalização objeto deste estudo. Seu perfil encontra-se reproduzido esquematicamente na Figura 5. Representa-se, nesse perfil, a linha piezométrica correspondente à situação estática.

O confronto do perfil com as informações anteriores permite constatar que o aprisionamento de ar é de fato possível, podendo levar à redução da capacidade de transporte constatada na prática, ver Figuras 6 e 7.

RESULTADOS OBTIDOS

Das conclusões obtidas a partir do estudo efetuado, resultou a recomendação de que de duas ventilações deveriam ser instaladas na tubulação em análise, ver Figura 8:

- a primeira imediatamente a jusante da entrada na canalização;
- a segunda na mudança de declividade do trecho descendente.

Tendo em vista a natureza do líquido transportado (esgoto sanitário), a ventilação deveria ser do tipo suspiro simples, nos moldes recomendados por Falvey (1980) – ver Figura 3.

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

O estudo do caso apresentado mostra que a literatura técnica utilizada correntemente no projeto de condutos forçados operando por gravidade não destaca, com a ênfase desejada, a necessidade de ventilação de pontos especiais desses condutos. De modo geral, elas se restringem à instalação de suspiros e ventosas nos pontos altos dos perfis.

Recomenda-se a elaboração de estudos experimentais a esse respeito.

Da mesma forma, recomenda-se que os cursos de graduação e especialização em hidráulica destaquem a possibilidade da ocorrência do aprisionamento de ar em casos semelhantes ao estudado.

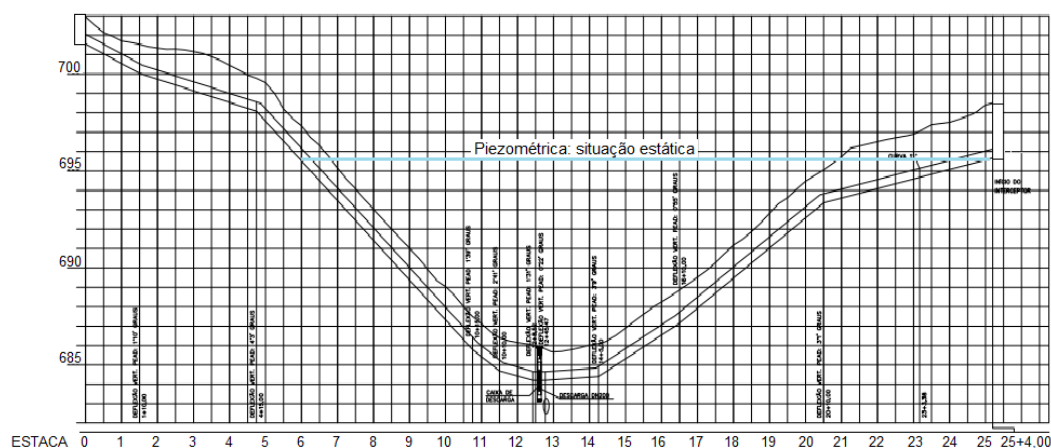


Figura 5: Perfil da canalização estudada e piezométrica correspondente à situação estática.

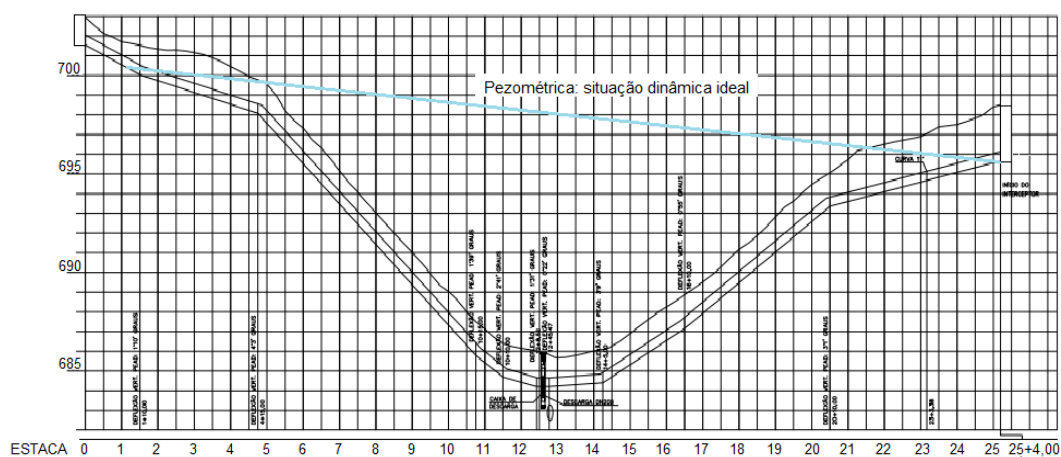


Figura 6: Linha piezométrica correspondente à situação ideal da tubulação, sem ar aprisionado.

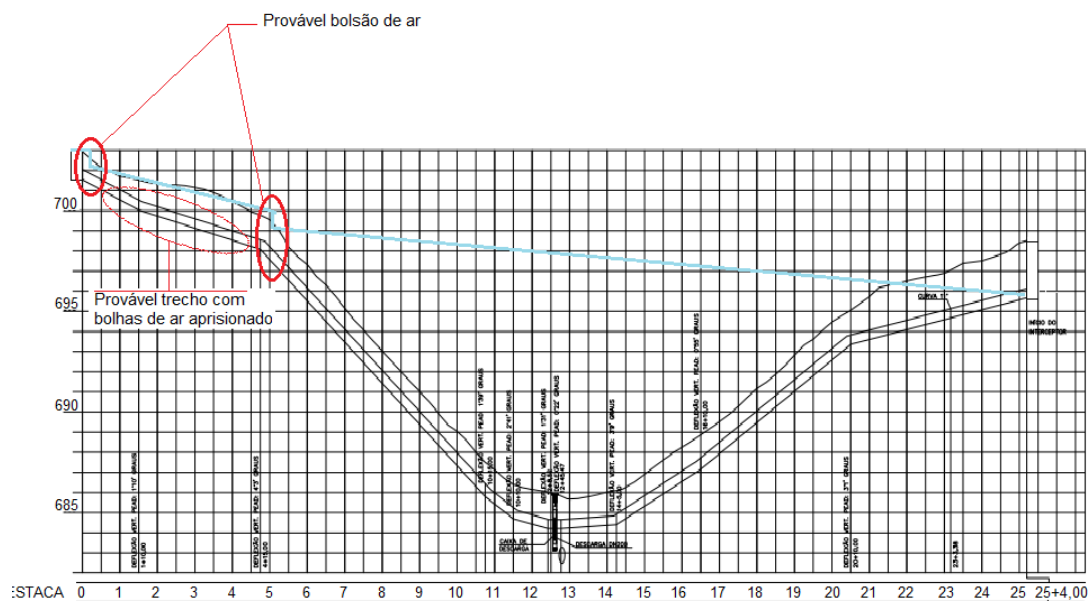


Figura 7: Linha piezométrica correspondente à situação provável da tubulação, com ar aprisionado.

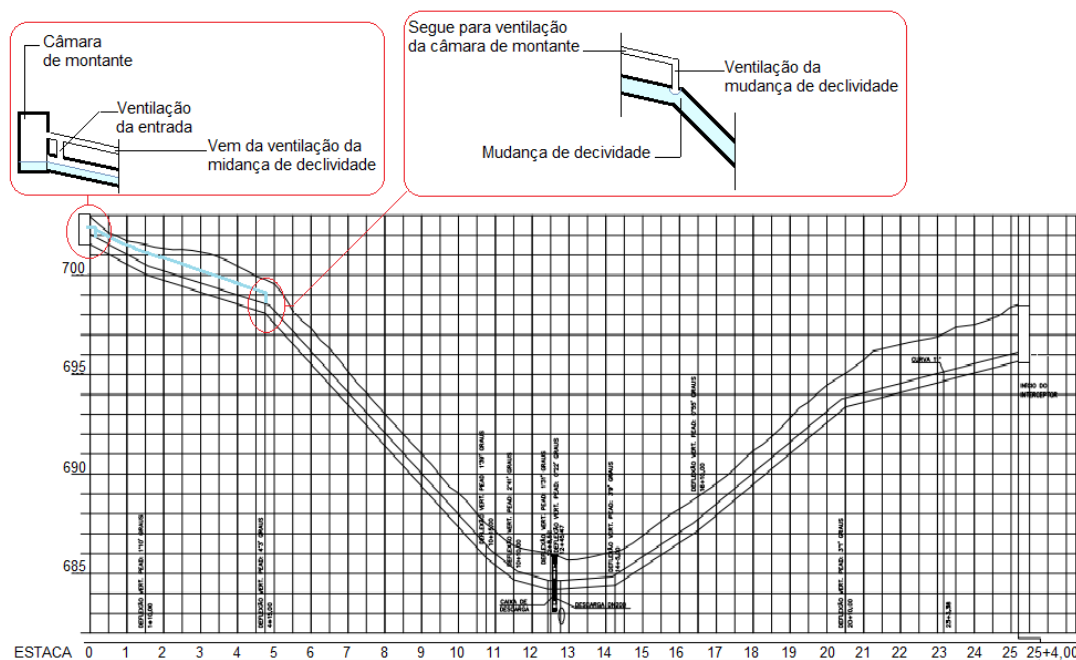


Figura 8: Resultado do estudo: ventilações recomendadas.

Um dispositivo experimental encontra-se em fase de montagem no Laboratório de Hidráulica do Programa de Mestrado em Engenharia de Sistemas Construtivos da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seu mais profundo agradecimento à empresa Engesolo Engenharia Ltda, que apoiou financeiramente este estudo através da concessão de bolsas de Iniciação Científica à acadêmica Débora Salomé Möller.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FALVEY, Henry T (1980). Air-Water Flow in Hydraulic Structures. Denver, Water and Power Resources Service. Engineering and Research Center. 143p.
2. IPLEX PIPELINES (2014). Air Valves, anti-vacuum valves and scour valves. In: Hydraulic Performance. Disponível em: <http://www.iplex.com.au/iplex.php?page=lib&lib=31&sec=231>. Acessado em 16/10/2014.
3. LESCOVICH, Joseph E. Locating and Sizing Air-Release Valves. Journal American Water Works Association. V. 64, No. 7, p. 457-461, Jul.1972.
4. VIANNA, Marcos R. (2008). Hidráulica para engenheiros civis. Volume 2: sistemas de produção, reservação e distribuição de água potável. Belo Horizonte, FUMEC/FEA. 354p.