*Copyright 2010, ABRACO*
*Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.*
*As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).*

**Resultados de inspeção in-line com PIG de detecção de corrosão (MFL) e análise de integridade baseada na Norma ASME B31.G do Mineroduto de Bauxita de Paragominas-Pa**

Gerson Melo[1], Romulo Rufino[2] , Otilio Pires[3] , Marco Veisac[4] , Orlando Favacho[5] , Marco Leão[6] , Geraldo Britte[7]s , Francisco Edvan[8] , Guilherme Porto[9]

## Abstract

The Bauxite Slurry Pipeline has its pump station placed at Miltonia 3 mine on the city of Paragominas-PA, passing over seven different cities until its destiny, the dewatering station and feeds the Alunorte refinery on the city of Barcarena-PA. The pipeline has a length of 244 Km and was constructed with API 5L X70 steel pipes with 24”OD and coated with three polyethylene layers. The pipeline has a cathodic protection system with impressed current composed by seven rectifiers and was designed to transport 14.5 dMTY of bauxite slurry with 50.5% of solids concentration. The pumping system was started up on February of 2007, and nowadays, because its maximum transport capacity wasn’t still achieved, it’s pumped into the system batches of water and batches of bauxite slurry. Because of design premises no chemical inhibitors are dosed in-line to mitigate the corrosion process into the pipeline. On May of 2008 was performed the first PIG in-line inspection with a corrosion detection PIG - MFL (Magnetic Flux Leakage) to detect and measure metal-loss features on the pipe wall. This work consists to show the results obtained from that corrosion detection inspection and presents an integrity study based on ASME B31.G.

## Resumo

O mineroduto de bauxita tem sua estação de bombeamento localizada na mina de Miltônia 3 no município de Paragominas-PA e passa por 7 municípios até chegar no seu destino final, a estação de desaguamento da refinaria Alunorte no município de Barcarena-PA. O mineroduto possui 244 km de extensão e foi construído com tubos aço do tipo API 5L X70 revestido com tripla camada de polietileno e diâmetro externo de 24”. Possui um sistema de proteção catódica por corrente impressa composto por sete retificadores e foi projetado para transportar 14,5 milhões de toneladas de polpa de bauxita por ano com uma concentração de sólidos de 50.5%. As operações de bombeamento iniciaram em fevereiro de 2007, e atualmente, como ainda não foi alcançada a capacidade máxima de transporte do mineroduto o bombeamento é intercalado entre batchs de água e polpa. Devido á premissas de projeto, não é realizada nenhuma dosagem de inibidores químicos na linha para mitigação da corrosão no interior do

[1] Especialista-engenheiro mecânico – VALE-Diretoria de bauxita de paragominas
[2] Mestre-engenheiro mecânico - VALE-Diretoria de bauxita de paragominas
[3] Mestre-quimico industrial - VALE-Diretoria de bauxita de paragominas
[4] graduado-Gerente de operações - VALE-Diretoria de bauxita de paragominas
[5] técnico-supervisor de operação - VALE-Diretoria de bauxita de paragominas
[6] técnico-supervisor de operação - VALE-Diretoria de bauxita de paragominas
[7] mestre-diretor de operações - VALE-Diretoria de bauxita de paragominas
[8] especialista- ger. geral de operações - VALE-Diretoria de bauxita de paragominas
[9] graduado-engenheiro mecânico-Rosembra

duto. Em maio de 2008 foi feita a primeira inspeção interna do duto com PIG de detecção de corrosão MFL (Magnetic Flux Leakage) para se detectar os possíveis pontos de perda de metal no interior do duto. O presente trabalho consiste em mostrar os resultados obtidos na inspeção interna de detecção de corrosão apresentando um estudo de integridade baseado na Norma ASME B31G.

**Palavras-chaves:** Mineroduto de Bauxita, Corrosão, inspeção com PIG MFL, Norma ASME B31.G

## Introdução

Em maio de 2008, devido à observação de um aumento significativo na pressão de operação do sistema de bombeamento, foi realizada uma campanha de limpeza e inspeção com PIGs a fim de se investigar os reais motivos do aumento de pressão, assim como identificar quantitativamente e qualitativamente os pontos de perda de metal devido ao processo de corrosão no interior do duto. Para isso foi contratada uma empresa com o *know-how* necessário para a realização da limpeza e inspeção interna nos 244 Km do Mineroduto de Bauxita de Paragominas.

A inspeção foi realizada usando um PIG MFL (Magnetic Flux Leakeage) onde o equipamento imprime nas paredes do duto um campo magnético, e a partir de sensores, identifica uma possível fuga desse campo, podendo assim, localizar e caracterizar pontos onde ocorre perda de metal.

A partir dessa inspeção foi gerado um relatório onde são apresentados todos os defeitos encontrados no interior do duto inclusive os pontos onde há perda localizada de metal ocasionada pelo processo de corrosão.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os pontos com perda de metal reportados pela inspeção analisano os mesmos a partir de critérios de aceitabilidade ou rejeição com base na Norma ASME B31G.

## Características do Mineroduto

As caracteristicas do Mineroduto de bauxita de Paragominas estão descritas na Tabela 1.

## Metodologia e Critérios Adotados

A inspeção realizada em 29/05/2008 com o PIG MFL gerou um relatório onde foram apresentados 423 defeitos detectados pela ferramenta de inspeção. No Gráfico 1 estão indicados e identificados os defeitos apresentados nesse relatório. Os pontos reportados como “Perda de Massa” são apresentados no relatório com suas devidas dimensões e localização, a saber: porcentagem da profundidade em relação à espessura da parede do duto, comprimento e largura da perda de metal, assim como a sua localização no perímetro do duto.

Para o estudo de criticidade dos pontos de perda de metal reportados foram adotados três critérios baseados na norma ASME B31G. Os pontos foram analisados em cada um desses critérios, sendo aceitos ou rejeitados pelos mesmos.

Os critérios para analise dos pontos estão apresentados a seguir e a simbologia adotada nas equações retiradas da norma ASME B31G se encontra na tabela 2.

a) Critério NÍVEL 1: Classifica as perdas de espessura a partir da profundidade da indicação

$$[\%] = \frac{d}{t} * 100 \text{ (Eq. 1)}$$

b) Critério NÍVEL 2: Classifica as perdas de espessura a partir do comprimento da indicação

b.1 Cálculo do comprimento admissível Ladm;

$$L_{adm} = 1{,}12 * B * \sqrt{D * t} \text{ (Eq. 2)}$$

b.2 Cálculo do Fator "B" – comprimento, quando d/t for maior ou igual a 0,175

$$B = \sqrt{\left( \frac{\frac{d}{t}}{1{,}1 * \frac{d}{t} - 0{,}15} \right)^2 - 1} \text{ (Eq. 3)}$$

b.3 O Fator "B" será igual a 4,0 quando d/t for menor que 0,175

c) Critério NÍVEL 3: Classifica as perdas de espessura considerando a pressão máxima admissível correspondente a cada indicação.

c.1 Cálculo da Pressão máxima de Projeto conforme ASME B31G

$$PM = \frac{2 * S * t * F * T}{D} \text{ (Eq.4)}$$

c.2 Cálculo do fator "A" através da relação de profundidade/espessura

$$A = 0{,}893 * \left( \frac{Lm}{\sqrt{D * t}} \right) \text{(Eq.5)}$$

Se A<=4 a pressão admissível é calculada através de:

$$P_{adm} = 1{,}1 * PM * \left[ \frac{0{,}333 * \left( \frac{d}{t} \right)}{0{,}333 * \left( \frac{d}{t * \sqrt{A^2 + 1}} \right)} \right] \text{(Eq.6)}$$

Se A> 4 a pressão é calculada através de:

$$P_{adm} = 1{,}1 * PM * \left[ 1 - \frac{d}{t} \right] \text{(Eq.7)}$$

A partir da analise desses critérios foi possivel classificar as perdas de espessura de modo a fundamentar o planejamento da manutenção preventiva do Mineroduto a partir das etapas descritas a seguir

a) ETAPA 1: Seleção do Modo de Falha o qual tende cada Indicação

Falhas em um duto decorrentes de perdas de espessura podem ocorrer por vazamento através de um furo ou por rompimento mediante colapso plástico. Com isso têm-se, os conjuntos:

- Indicações em condição de vazamento potencial: Lm>Ladm;
- Indicações em condição de ruptura potencial: Ladm<=Lm

b) ETAPA 3: Determinação da severidade das indicações de vazamento potencial.

Calcula-se o índice de severidade por vazamento SV para cada indicação enquadrada nesse modo de falha.

c) ETAPA 4: Determinação da severidade das indicações em condição de ruptura potencial.

Calcula-se o índice de severidade por ruptura SR para cada indicação enquadrada nesse modo de falha.

d) ETAPA 5: Classificação da Severidade das Indicações

A classificação dos indices de severidade analisados segundo o padrão da norma ASME B31G estão mostradas na Tabela 3.Elas são então ordenadas por índice de severidade decrescente.

## Resultados e Discussões

O Gráfico 2 mostra as perdas de metal relativas em relação à distância no decorrer do duto. Pode-se observar uma maior quantidade de pontos com perda de metal mais elevada na primeira metade do duto. No Gráfico 3 são confrontados os comprimentos dos pontos de perda de metal indicados pela inspeção e os comprimentos de perda de metal admissiveis calculados a partir da Norma ASME B31G. Observar-se que na primeira metade do mineroduto existem alguns pontos que possuem comprimento de perda de metal próximas do comprimento admissivel, isso se deve ao fato da pressão de operação ser mais elevada nessa região. O Gráfico 4 mostra os ponto de perda de metal classificados pelo índice de SR-Severidade de Ruptura, os quais foram estabelecidos segundo diretrizes gerenciais baseado na Norma ASME B31G. Devido ao gradiente de pressão, os pontos de perda de metal localizados na primeira metade do mineroduto possuem um índice SR-4 com 3 pontos já na região de índice SR-3, portando uma média probabilidade de falha por ruptura. Já os pontos localizados na segunda metade do mineroduto apresentam um índice SR-5, o que indica uma baixa probabilidade de falha por ruptura conforme indicado na Tabela 3. O gráfico 5 mostra os pontos de perda de metal segregados conforme índice de SV–Severidade de Vazamento. O gráfico mostra que a grande maioria dos pontos posseum índice SV-5, tendo somente 2 pontos com índice SV-4 e 1 ponto com SV-3 que são considerados críticos e passíveis de inspeção. O Gráfico 6 mostra como estão dispostos os pontos de perda de metal no perímetro do duto ao longo do mesmo. É perceptível que na primeira metade do duto os pontos de perda de metal estão mais concentrados nas geratrizes inferior e superior do mesmo. Já nas proximidades do km 120, os pontos de perda de metal estão localizados ao longo de todo o perímetro do duto. E na segunda metade so duto, os pontos de perda de metal estão mais dispersos.

## Conclusões

**1.** Os resultados do relatório não indica uma situação crítica, mas nos remete à uma situação de alerta para os três pontos de perda de metal com índice SV-3 e SV-4, assim como os três pontos com índice SR-3;
**2.** A partir da análise de integridade criou-se um plano de ação para realização de uma inspeção em campo e/ou reparo dos pontos relatados como críticos;
**3.** Observa-se que a disposição dos pontos de perda de metal ao longo de seu perímetro na primeira e na segunda metades do mineroduto são diferentes; isso mostra a possibilidade de haver diferentes mecanismos de processo de corrosão no interior do mesmo;
**4.** Como esse trabalho mostra as condições internas do mineroduto no período de maio de 2008, é importante que façamos uma segunda inspeção interna afim de podermos medir as taxas de corrosão pontuais reais das paredes internas do mineroduto.

## Referências bibliográficas


1. ASME B31G: **Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines**: **A Supplement to B31 Code for Pressure Piping**; American Society of Mechanical Engineers; 1991.
2. ASME B31.11: **Slurry Transportation piping Systems**; American Society of Mechanical Engineers; 2002.
3. Relatório ROSEN de Indicações Reportadas pela passagem do PIG MFL em maio de 2008.


Tabela 1 – Características do Mineroduto de Bauxita de Paragominas

| | |
|---|---|
| Tempo de operação em 29/ 05/2008 | 480 dias |
| Vida de referência de projeto | 25 anos |
| Extensão total | 242.786,28 km |
| Diâmetro externo | 24” (3) |
| Pressão de operação | 138,65 kgf./cm² |
| Pressão de projeto | 171,90 kgf./cm² |
| Material de Fabricação | API 5L X70 |
| Limite de escoamento mínimo do Material de fabricação | 482 MPa |
| Fluido | Polpa de Bauxita |
| Vazão de Projeto (Mínimo) | 1680 ~1,7 m/s |
| Altitude da Estação de Bombeamento | ~118 m |
| Altitude da Estação de Desaguamento | ~20 m |

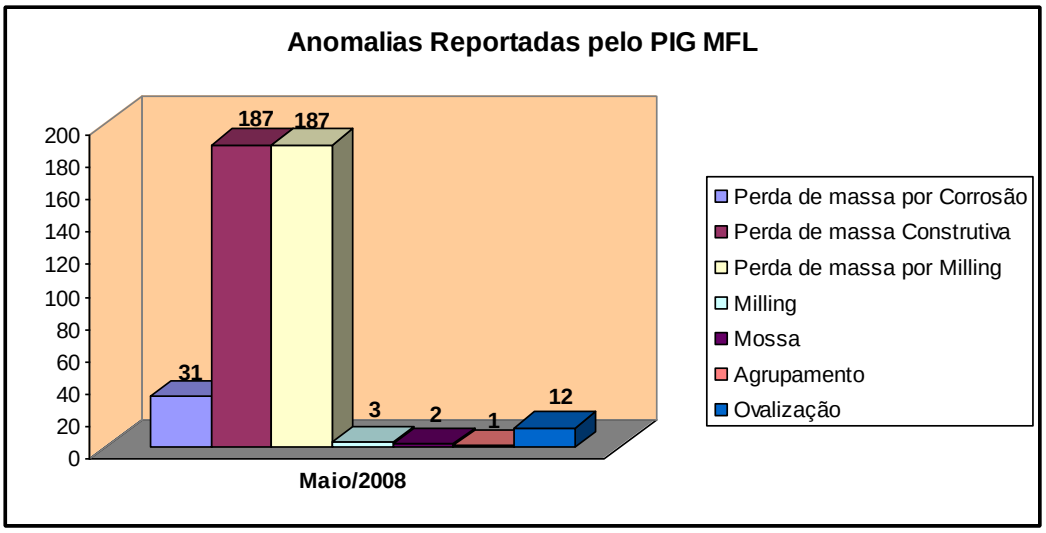


Gráfico 1: Anomalias reportadas pelo PIG MFL

Tabela 2: Simbologia adotada nas equações dos critérios utilizados

| | |
|---|---|
| t (mm) | Espessura nominal do duto (mm) |
| D | Diâmetro nominal do duto (mm) |
| d | Profundidade máxima da indicação (mm) |
| p | Perda de espessura relativa (%) |
| $L_m$ | Comprimento da indicação (mm) |
| PH | Posição Horária da indicação |
| h | Largura da indicação (mm) |
| $L_{adm}$ | Comprimento admissível da indicação segundo Nível 2 (MPa) |
| S | Limite de escoamento mínimo especificado para o material do duto (MPa) |
| F | Fator de Projeto do duto |
| T | Fator de Temperatura do duto |
| PMO | Pressão Máxima de Operação do duto (MPa) |
| $P_{adm}$ | Pressão admissível para a indicação, calculada segundo Nível 3 (MPa) |
| $P_{Projeto}$ | Pressão de Projeto máxima calculada através de Padrão ASME B31G |
| SV | Ìndice de Severidade de Vazamento |
| SR | Ìndice de Severidade de Ruptura |
| B | Fator “B” de comprimento admissível |
| A | Fator de relação de comprimento da indicação, diâmetro do duto e espessura nominal |

Tabela 03 - Classificação dos índices de Severidade das Indicações Analisadas pelo padrão ASME B31G

| | | |
|---|---|---|
| Indicações em condição de vazamento potencial (Lm>Ladm) $SV = \frac{d}{t}$ | SV1 0,8<=SV | Alta probabilidade de Falha por vazamento |
| | SV2 0,7<=SV<0,8<br>SV3 0,6<=SV<0,7<br>SV4 0,5<=SV<0,6 | Média probabilidade de Falha por vazamento |
| | SV5 SV<0,5 | Baixa probabilidade de Falha por vazamento |
| Indicações em condição de ruptura potencial (Ladm<=Lm) $SR = \frac{PMO}{P_{adm}}$ | SR1 1<=SR | Alta probabilidade de Falha por Ruptura |
| | SR2 0,9<=SR<1<br>SR3 0,7<=SR<0,9<br>SR4 0,5<=SR<0,7 | Média probabilidade de Falha por Ruptura |
| | SR5 SR<0,5 | Pequena probabilidade de Falha por Ruptura |

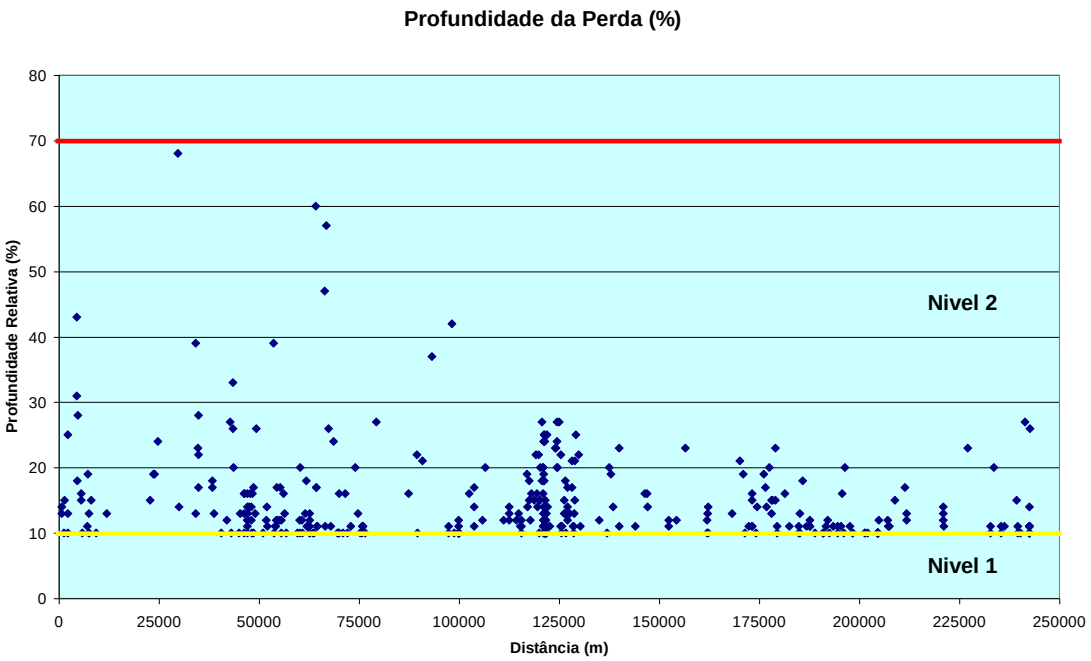


Gráfico 2: Profundidade relativa da perda de metal (%) X Distância (m)

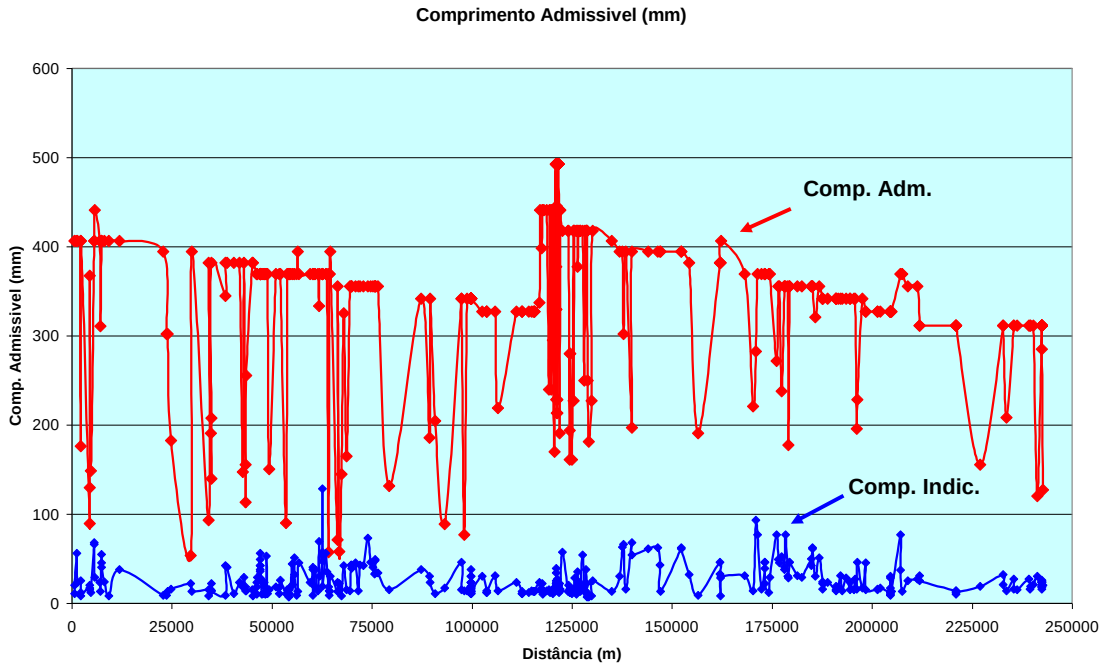


Gráfico 3: Comprimento admissível das indicações X Distância (comprimento linear do Mineroduto)

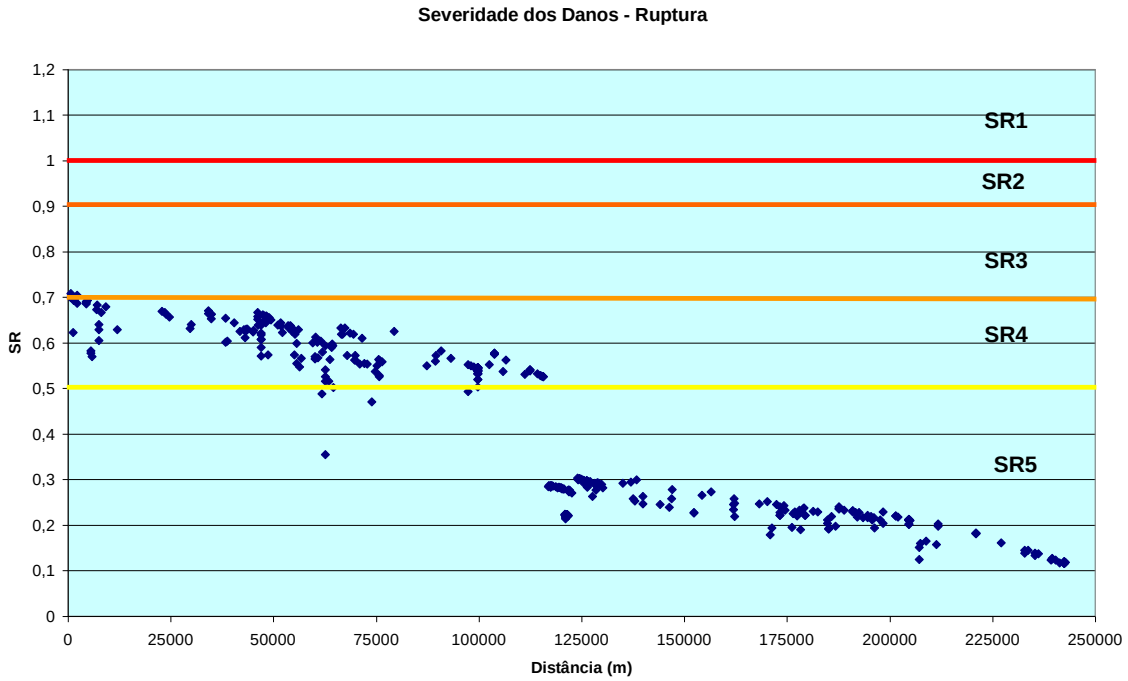


Gráfico 4: Índices de severidade de ruptura das indicações X Distância (comprimento linear do Mineroduto)

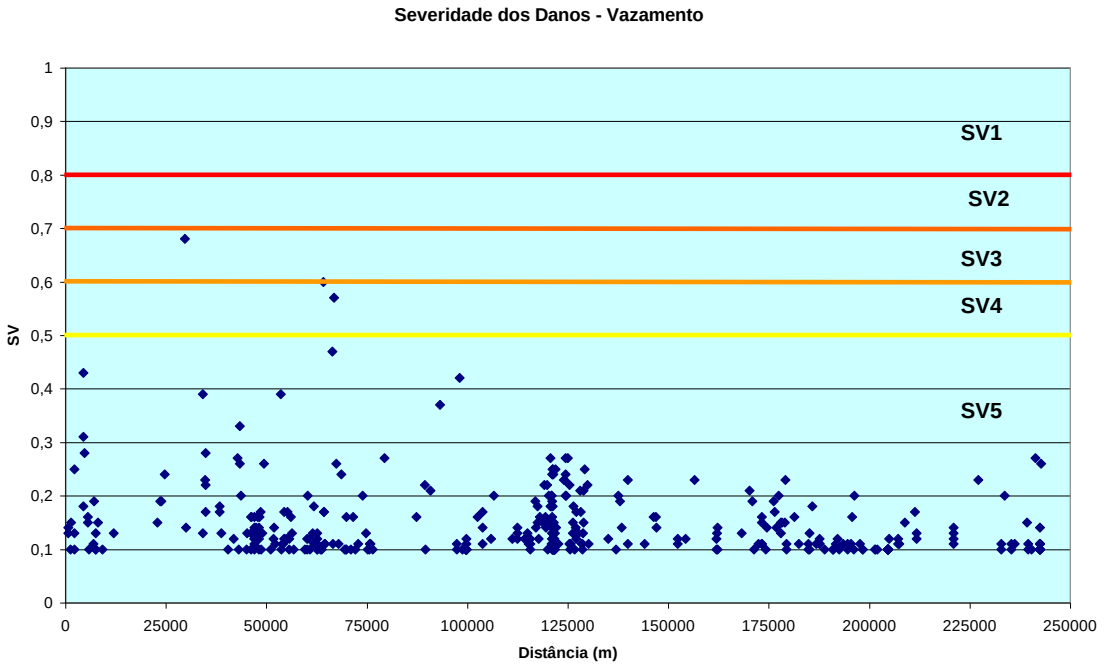


Gráfico 5: Índices de severidade de vazamento das indicações X Distância (comprimento linear do Mineroduto)

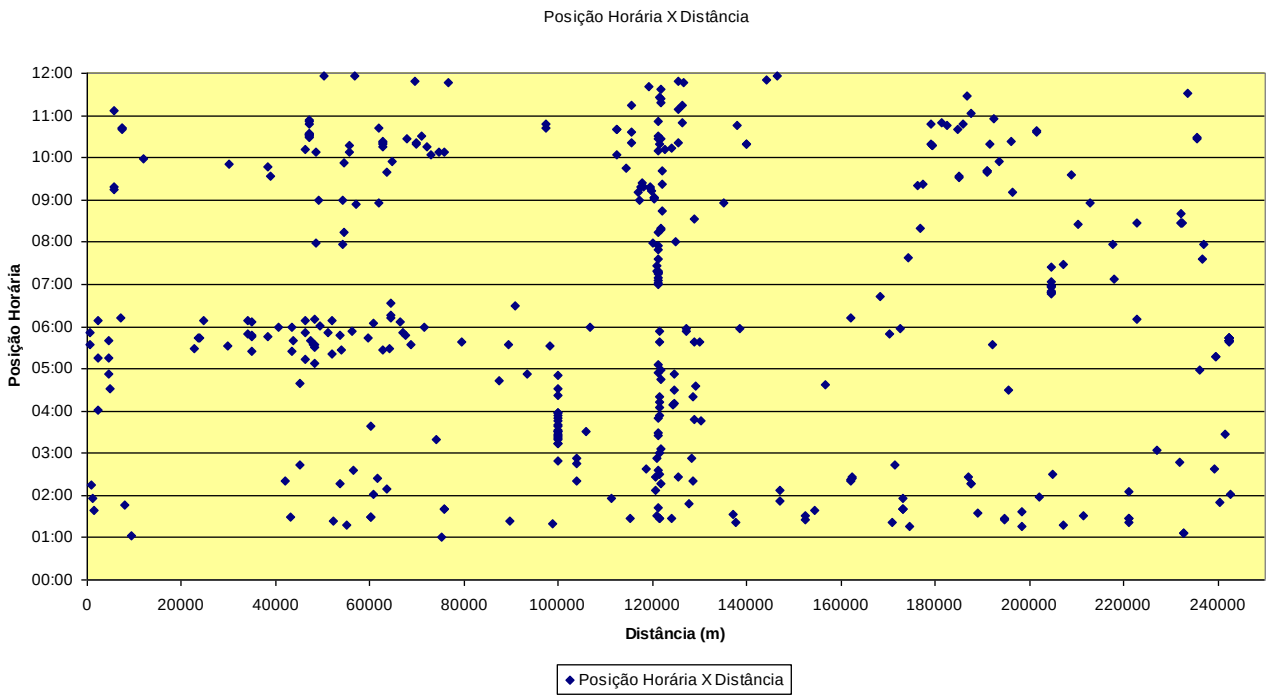


Gráfico 6: Posição horária dos pontos de perda de metal x Distância (comprimento linear do Mineroduto)