

OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CATÓDICA DE UM OLEODUTO ENTERRADO

Diogo S. M. B. Maia¹, Aymar Capasciutti², Landulfo Silveira Júnior³

¹UNIVAP/FEAU/Aluno Engenharia Elétrica/5º Ano, São José dos Campos, dmaiajp@yahoo.com.br

²ENGEDUTO/Responsável pela Gerência Técnica, São José dos Campos, aymar@egdengenharia.com.br

³UNIVAP/FEAU/Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica, São José dos Campos, landulfo@univap.br

Resumo- Os dutos de aço carbono enterrados estão sujeitos a corrosão eletroquímica pelo solo. Para protegê-los contra a corrosão usa-se revesti-los. Os revestimentos podem ser de vários tipos, tais como “Coal-tar”, poliuretano, polietileno, etc. No entanto, os revestimentos não representam uma barreira 100% sólida, ou seja, naturalmente apresentam porosidades e por conseguinte um decréscimo em sua eficiência, que deve ser considerado. A parcela da área exposta pelas porosidades é protegida pela proteção catódica, que atua como um complemento. O presente trabalho contempla a construção de um novo leito de anodos para uma Estação Retificadora pertencente ao Sistema de Proteção Catódica de um Oleoduto enterrado.

Palavras-chave: Proteção Catódica, Corrosão, Retificador.

Área do Conhecimento: Engenharias

Introdução

Um Sistema de Proteção Catódica consiste na criação de uma região anódica artificial, tornando a estrutura a ser protegida (oleoduto) em catodo. A região anódica artificial é constituída de eletrodos de liga metálica de baixa taxa de desgaste, instalados no solo (anodos). Um retificador transforma a fonte externa de corrente alternada para contínua, numa tensão que é aplicada entre os anodos artificiais e o oleoduto. Eletroquimicamente, a passagem da corrente iônica da região anódica artificial para o oleoduto rebaixa o potencial natural do mesmo para valores que o tornarão catodo da pilha eletroquímica então formada.

O objetivo do trabalho é apresentar um projeto de melhoria de um Sistema de Proteção Catódica por corrente impressa de um duto enterrado.

A motivação principal é a de compartilhar informações sobre uma área pouco conhecida no mercado de trabalho.

Materiais e Métodos

A Estação Retificadora do caso em questão é composta dos seguintes itens: Um Retificador em perfeitas condições operacionais, com saída nominal de 60VCC / 50ACC, e um Leito composto de 40 anodos de Fe-Si-Cr, com os anodos dispostos paralelamente ao duto, a uma distância de 14,50 metros do mesmo.

Esta condição de instalação dos anodos é desfavorável para o Sistema de Proteção Catódica, pois além de limitar o alcance efetivo da corrente elétrica de proteção, também pode vir a provocar um descolamento prematuro do

revestimento, devido a concentração da corrente elétrica fluindo para a área do duto demasiadamente próxima ao leito.

Pelo acima exposto, buscou-se uma forma de melhorar a eficiência da Estação, através da construção de um novo Leito, posicionado perpendicularmente ao duto e com o primeiro anodo posicionado a uma distância de 100 metros do mesmo.

Para tanto, foram efetuados levantamentos de dados de campo, cujos resultados estão demonstrados nas tabelas abaixo:

Tabela 1
Medições de Potencial Tubo/Solo (V) na Região de Influência da Estação Retificadora, com a mesma Inoperante
Semi Célula Cu/CuSO₄

PT	KM	MAX	PRED	MIN
PT-01	39+400	-0,73	-1,31	-1,64
PT-02	43+700	-1,07	-1,34	-1,82
PT-03	45+900	-0,82	-1,05	-1,34
PT-04	52+300	-0,60	-1,05	-1,37
RF	54+000	-0,68	-0,99	-1,36
PT-04A	54+100	-0,89	-1,41	-1,79
PT-05	55+300	-0,57	-1,04	-1,53
PT-05A	57+300	-0,77	-1,31	-1,80
PT-06	57+600	-0,48	-1,35	-1,84
PT-07	62+700	-1,55	-1,62	-1,73

Critério de Proteção pelo potencial máximo de -0,85 V em relação a semi célula de Cobre/Sulfato de Cobre.

Tabela 2
Medições de Resistividade Elétrica do Solo (Ω .cm) na Região de Instalação do Novo Leito

Ponto de Medição x Distância do Duto		Resistividade (Ω . cm) na profundidade de:					Valor Médio Prof. 1,5 e 3,0 m
Nº	m	1,5m	3,0m	4,5m	6,0m		
01	65	11.687	9.802	11.027	11.687	10.744	
02	85	17.247	17.907	15.268	13.195	17.577	
03	105	13.949	13.006	13.854	12.441	13.477	
04	125	15.834	17.530	16.682	13.195	16.682	
05	145	14.326	17.907	15.551	13.195	16.116	
06	165	12.158	11.310	10.461	8.671	8.762	
06A	169,5	7.898	-	-	-		
06B	174	5.938	7.691	-	-		
06C	178,5	6.098	-	-	-		
07	185	6.220	6.409	7.351	8.294	6.315	
08	205	6.974	5.843	6.786	7.163	6.409	
09	225	4.807	6.597	7.351	8.294	5.702	
10	245	4.524	5.089	5.938	7.163	4.807	
11	265	9.613	11.310	9.896	8.294	10.461	
12	285	21.583	18.850	15.551	9.802	20.216	
VALOR MÉDIO PARA A PROFUNDIDADE DE INSTALAÇÃO DOS ANODOS NO LOCAL DO NOVO LEITO (PONTO 03 AO 11)					9.859 Ω.cm		

O valor da coluna "Valor Médio das Profundidades 1,5 e 3,0 m" é resultante da média dos valores das colunas "1,5m" e "3,0m", para cada ponto de medição.

Para os pontos de medição 06, 06A, 06B e 06C, o valor médio da coluna "Valor Médio das Profundidades 1,5 e 3,0 m" foi obtido da seguinte forma:

$$\{[(12158+7898+5938+6098)/4] + [(11310+7691)/2]\} / 2$$

As medições 06A, 06B e 06C foram efetuadas devido a média das medições entre os pontos 01 a 06 terem apresentado uma variação acima de 50% para a medição do ponto 07.

Foi escolhida a região entre os pontos de medição 03 ao 11 para o estudo da instalação do leito devido a mesma apresentar os valores de resistividade mais favoráveis e estar localizada a 105 m do duto, distância essa tida pela prática como favorável para uma satisfatória distribuição da corrente elétrica, e apresentar extensão suficiente para a construção do leito.

De posse dos levantamentos de dados de campo, partiu-se para o cálculo do número mínimo de anodos a serem utilizados, tendo como orientação básica a resistência de contato elétrico final anodo/eletrolito da ordem de 2,00 ohms.

Anodos utilizados: Titânio ativado com óxidos de metais nobres, STRIP 1000, 1000 x 17 x 2,5 mm.

Desgaste dos anodos: Desprezível conforme literatura.

Expectativa de vida: Superior a 20 anos, desde que respeitada a densidade de corrente especificada para o tipo do anodo (4,0 ACC por anodo).

Número mínimo de anodos a utilizar, calculado pelo critério do menor valor da resistência de contato anodo/eletrolito: 30 anodos.

CÁLCULOS PARA O NOVO LEITO

Cálculo da Resistência Anodo/Eletrolito pela fórmula aproximada desenvolvida por H. B. Dwight

$$R_{ae} = [\rho / (2\pi NL)] \cdot \{ \ln [(8L/D) - 1 + [(2L/S) \cdot \ln (0,656N)] \}$$

$$R_{ae} \text{ Resistência anodo/eletrolito} = 1,48 \Omega$$

$$\rho \text{ Resistividade elétrica do solo} = 9.859 \Omega.cm$$

$$D \text{ Diâmetro da camisa do anodo} = 150 \text{ cm}$$

$$L \text{ Comprimento da camisa do anodo} = 200 \text{ cm}$$

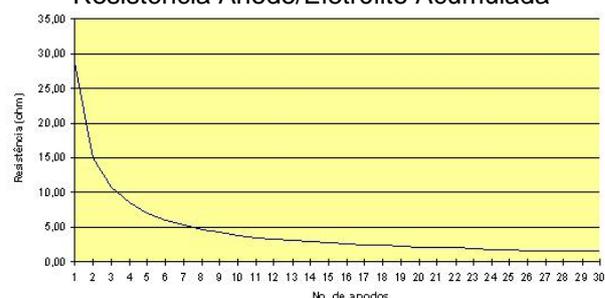
$$N \text{ Número de anodos} = 30 \text{ anodos}$$

$$S \text{ Espaçamento entre anodos} = 600 \text{ cm}$$

Tabela 3
Cálculo da Resistência Anodo/Eletrolito (Ω)

ANODO	RESISTÊNCIA ACUMULADA	ANODO	RESISTÊNCIA ACUMULADA
1	28,79	16	2,57
2	15,11	17	2,44
3	10,78	18	2,32
4	8,46	19	2,21
5	7,00	20	2,11
6	5,99	21	2,02
7	5,25	22	1,94
8	4,68	23	1,87
9	4,23	24	1,80
10	3,86	25	1,74
11	3,56	26	1,68
12	3,30	27	1,62
13	3,08	28	1,57
14	2,88	29	1,52
15	2,72	30	1,48 Ω

Gráfico 1
Resistência Anodo/Eletrolito Acumulada



Cálculo da Resistência de Aterramento e Corrente do Leito

$$R_t = 1,2 (R_{ae} + R_{ca})$$

R_t Resistência total

R_{ae} Resistência de contato anodo/eletrólito

R_{ca} Resistência dos cabos elétricos

$$R_{ca} = C \times 0,70$$

C Comprimento do cabo (km)

0,70 Resistência específica - cabo #25mm² (Ω/km)

$$I = V_{nom} / R_t$$

I Corrente máxima do leito (Ampères)

V_{nom} Tensão Nominal do retificador (Volts)

R_t Resistência total do leito (Ω)

Tabela 4
Cálculos para o Leito de Anodos

30 anodos x 6 m	
Parâmetro	Valores
Distância do duto ao 1º anodo = 105 m	
$\rho_{médio}$	9.859 Ω . cm
Extensão do Leito	Ponto de Medição 03 ao 11
L	200 cm
D	15 cm
N	30
S	600 cm
R_{ae}	1,48 Ω
C	0,602 km
R_{ca}	0,42 Ω
R_t	2,28 Ω
V_{nom}	60 V
I	26,32 A

Para comprovação que a quantidade de anodos e a disposição dos mesmos no trecho pesquisado demonstrada acima foi a melhor possível, foram efetuados outros cálculos que estão demonstrados abaixo.

Tabela 5
Ensaio para Diferentes Números de Anodos

	35 anodos x 6 m	35 anodos x 7 m
Parâmetro	Valores	Valores
Distância do Duto ao 1º Anodo	105 m	65 m
$\rho_{médio}$	10.895 Ω . cm	11.439 Ω . cm
Extensão do Leito	Ponto de Medição 03 ao 12	Ponto de Medição 01 ao 12
L	200 cm	200 cm
D	15 cm	15 cm
N	35	35
S	600 cm	700 cm
R_{ae}	1,43 Ω	1,42 Ω
C	0,670 km	0,738 km
R_{ca}	0,47 Ω	0,52 Ω
R_t	2,28 Ω	2,33 Ω
V_{nom}	60 V	60 V
I	26,32 A	25,75 A

Conforme Levantamento de Resistividade do Solo – Tabela 2, pode-se observar que a resistividade na região disponível e pesquisada para a construção do leito apresenta-se heterogênea.

Para otimização do valor da resistência final do leito, procurou-se local o mesmo dentro da área pesquisada e na extensão com os valores de resistividade mais favoráveis. O primeiro anodo foi localizado a aproximadamente 100 metros do duto, que conforme recomendação da literatura especializada é tida como distância satisfatória para a distribuição da corrente injetada.

Assim, conforme tabelas 1, 4 e 5, a disposição de 30 anodos com espaçamento de 6 metros foi considerada como a melhor alternativa, pois apresenta uma instalação com configuração final de menores dimensões e com o menor valor final de resistência de contato elétrico para o leito/solo.

Verificação da Corrente Elétrica por Anodo

Para o anodo STRIP 1000 (1000 x 17 x 2,5 mm) a corrente máxima admissível é de 4 ACC.

Para o leito, constituído por 30 anodos e com uma injeção prevista de 26,32 A, a maior corrente por anodo será de 0,88 A, bem inferior ao máximo admissível para cada anodo.

Verificação da Vida Útil do Leito

Expectativa de vida: Superior a 20 anos desde que respeitada a densidade de corrente especificada para o tipo do anodo (4,0 ACC por anodo).

Conforme demonstrado, a corrente por anodo é de 0,88 A, portanto a expectativa de vida útil apresenta-se superior a 20 anos.

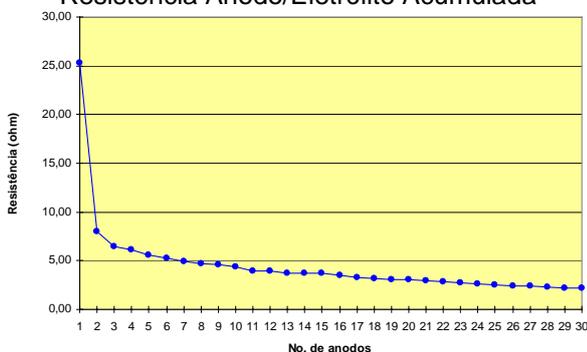
Resultados

Abaixo seguem demonstrados os resultados obtidos durante a pré-operação do Leito de Anodos.

Tabela 6
Pré-Operação do leito de Anodos
Resistência Anodo/Solo Individual e Acumulada

Anodo	Resistência Elétrica	
	Anodo/Solo Individual (Ω)	Anodo/Solo Acumulado (Ω)
Anodo 1	25,34	25,34
Anodo 2	25,18	7,94
Anodo 3	32,26	6,49
Anodo 4	32,20	6,15
Anodo 5	28,20	5,58
Anodo 6	28,33	5,23
Anodo 7	25,07	4,89
Anodo 8	28,95	4,69
Anodo 9	28,53	4,55
Anodo 10	14,87	4,42
Anodo 11	14,01	4,00
Anodo 12	13,17	3,92
Anodo 13	9,33	3,77
Anodo 14	8,28	3,70
Anodo 15	8,91	3,69
Anodo 16	9,12	3,49
Anodo 17	7,34	3,31
Anodo 18	7,59	3,16
Anodo 19	9,10	3,06
Anodo 20	8,68	3,01
Anodo 21	8,64	2,98
Anodo 22	8,32	2,82
Anodo 23	8,83	2,72
Anodo 24	8,01	2,63
Anodo 25	8,00	2,51
Anodo 26	8,41	2,43
Anodo 27	8,26	2,36
Anodo 28	9,73	2,28
Anodo 29	10,12	2,20
Anodo 30	9,91	2,15 Ω

Gráfico 2
Pré-Operação do Leito de Anodos
Resistência Anodo/Eletrólito Acumulada



O valor da resistência de contato final do leito verificado após a sua construção é de 2,15 ohms.

Após a instalação do novo Leito de Anodos, o Retificador foi energizado, tendo permanecido com os seguintes ajustes:

Tabela 7
Pré-Operação do Leito de Anodos
Ajuste Final do Retificador

Parâmetro	Valor
Ajuste grosso	4/6
Ajuste fino	1/5
Tensão de saída ligado (VCC)	32,30
Tensão de saída desligado (VCC)	4,64
Corrente de saída (ACC)	12,85
Resistência do Leito de Anodos (Ω)	2,15

Com o ajuste da Tabela 7, foram obtidos os valores de potencial tubo/solo abaixo na região de influência da Estação Retificadora:

Tabela 8
Pré-Operação do Leito de Anodos
Medições de Potencial Tubo/Solo (V) na
Região de Influência da Estação Retificadora
Semi Célula Cu/CuSO₄

PT	KM	MAX	PRED	MIN
PT-01	39+400	-1,24	-1,72	-2,18
PT-02	43+700	-1,20	-1,87	-2,40
PT-03	45+900	-1,20	-1,40	-1,68
PT-04	52+300	-1,70	-2,09	-2,72
RF	54+000	-10,62	-10,89	-11,21
PT-04A	54+100	-7,14	-7,71	-8,44
PT-05	55+300	-2,66	-3,06	-4,04
PT-05A	57+300	-1,64	-2,02	-2,68
PT-06	57+600	-1,89	-2,52	-3,11
PT-07	62+700	-1,10	-1,19	-1,32

Conclusão

Considerando-se os testes e ensaios executados, o leito de anodos apresenta parâmetros de operação compatíveis com o seu projeto e satisfatórios para a Melhoria do Sistema de Proteção Catódica do Oleoduto Enterrado. Ver Tabelas 1 – anterior a construção do leito, e 8 – com o novo leito em operação.

Referências

- Aldo Cordeiro Dutra e Laerce de Paula Nunes, Proteção Catódica - Técnica de Combate a Corrosão, 3ª Edição, 1999.