

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Influência na Resistência de Contato Anodo/Eletrólito dos Parâmetros Utilizados no Dimensionamento de Sistemas de Proteção Catódica

Laerce de Paula Nunes^a, Anderson Teixeira Kreischer^b, Luciano Gabriel de Oliveira Coelho^c, Antônio Pires Caetano^d, Léo Santana Gomes de Matos^e.

Abstract

Corrosion protection for underground and submerged metallic structures by means of cathodic protection is an important, well-known and extensively applied practice in all parts of the world. For determining the cathodic protection current necessary in Galvanic and ICCP Systems, the appropriate calculation of anode-to-electrolyte resistance is a critical to their performance. Some parameters are crucial in determining of anode-to-electrolyte resistance, such as anodes' shape and dimensions, distance between them and electrolyte resistivity. This paper analyzes the influence of these parameters of anode-to-electrolyte resistance and also it simulates galvanic anodes in seawater in order to obtain results in this condition. In this case, anode-to-electrolyte resistance has studied establishing the influence of inter-anode spacing for a determined shape and in a specific electrolyte resistivity (seawater).

Keywords: cathodic protection, anode-to-electrolyte resistance.

Resumo

A proteção anticorrosiva de estruturas enterradas ou submersas, por meio de proteção catódica é uma prática importantíssima, muito conhecida e exaustivamente aplicada em todas as partes do mundo.

Para definição da corrente de proteção obtida nos sistemas galvânicos e por corrente impressa o adequado domínio sobre a resistência de contato anodos/eletrólitos é fundamental para o desempenho dos mesmos.

Alguns parâmetros são primordiais na determinação destas resistências de contato, como por exemplo, o formato e as dimensões dos anodos, a resistividade elétrica do meio e o espaçamento entre eles.

O presente trabalho analisa a influência destes parâmetros na resistência de contato anodo/eletrólito e simula os resultados para anodos galvânicos na água do mar.

Para esta situação procurou-se estabelecer a influência do espaçamento entre anodos na resistência do contato, para um determinado formato e uma resistividade elétrica média do meio (água do mar).

Palavras-chave: proteção catódica, anodo/eletrólito, resistência.

^a Engenheiro Metalurgista – Gerente de Projetos - IEC, ^b Engenheiro Metalurgista – Gerente de Projetos - IEC
^c Engenheiro Eletricista – Engenheiro de Projetos - IEC ^d Engenheiro Eletricista – Gerente de Engenharia - IEC
^e Engenheiro Eletricista – Gerente de Projetos - IEC

Introdução

A técnica de proteção catódica de estruturas enterradas ou submersas é uma prática importantíssima, muito conhecida e ostensivamente utilizada.

No cálculo da corrente de proteção obtida nos sistemas galvânicos e por corrente impressa é fundamental o adequado domínio sobre a resistência de contato anodos/eletrólitos.

O presente trabalho analisa a influência dos parâmetros de cálculo na resistência de contato anodo/eletrólito e simula os resultados para uma aplicação típica de anodos galvânicos em água do mar.

Neste caso procurou-se estabelecer a influência do espaçamento entre anodos na resistência do contato, para um determinado formato e uma resistividade elétrica média do meio (água do mar).

Parâmetros de Cálculo da Corrente em Sistemas de Proteção Catódica

Duas etapas são fundamentais no dimensionamento de sistemas de proteção catódica (1):

- Cálculo da corrente proteção;
- Verificação se os dispositivos usados para suprir a corrente são capazes de atender, no mínimo ao valor calculado.

Para o cálculo da corrente de proteção os parâmetros tradicionais que se aplicam tanto aos sistemas galvânicos como corrente impressa consideram (1,2):

- A área da superfície a proteger;
- A densidade de corrente que depende da resistividade elétrica do meio;
- Um fator para corrigir a corrente quando houver movimentação relativa estrutura/eletrólito;
- A eficiência do revestimento se a estrutura for revestida;
- Um fator para corrigir a corrente quando houver correntes de interferência;
- Um fator para corrigir a corrente quando houver pares galvânicos – fator galvânico.

Para o cálculo da corrente suprida pelos dispositivos os parâmetros a serem considerados são:

- A resistência de contato catodo/eletrólito;
- A resistência de cabos quando houver;
- A resistência de contato anodo/eletrólito.

A resistência de contato catodo/eletrólito, quando se trata de água do mar e/ou catodo muito grande, é em geral muito pequena e na maioria das vezes desprezível.

Em estruturas no mar na maioria dos casos os anodos são soldados na própria estrutura ou grupados e neste caso também é comum deixar de considerar a resistência de cabos.

Alguns parâmetros são extremamente importantes na determinação destas resistências de contato anodo/eletrólito, como por exemplo, o formato e as dimensões dos ânodos, a resistividade elétrica do meio e o espaçamento entre eles. Neste trabalho optamos por avaliar a influência do espaçamento entre os anodos na citada resistência.

Cálculo da Resistência de Contato Anodo/eletrólito

Para verificarmos a influência da distância entre anodos galvânicos na resistência de contato anodo/eletrolito, ou seja, a interferência mútua utilizou-se a metodologia proposta por Jerry Cochran (3), que sugere as equações analíticas de Dwight e Sunde para calcular a resistência de contato anodos/eletrolito de quatro anodos trapezoidais.

Foram considerados quatro anodos na posição vertical, paralelos e equidistantes, distribuídos em um arranjo circular, conforme esquematizado na Figura 1.

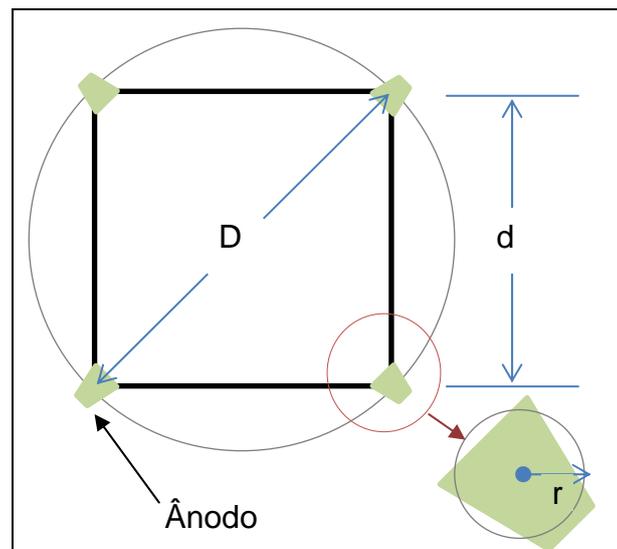


Fig. 1 - Representação gráfica esquemática considerada para os cálculos

Onde:

- d = Afastamento mínimo entre anodos;
- D = Diâmetro da circunferência no ponto médio dos anodos;
- r = Raio equivalente do anodo.

Na realização dos cálculos foram observadas as seguintes premissas:

- Anodos submersos em um eletrólito, água salgada, com resistividade elétrica média de 25 Ohm.cm.
- Anodos com as seguintes dimensões: comprimento (L) de 250 cm e raio equivalente (r) de 15,12 cm.
- Espaçamento para o cálculo da resistência de contato anodos/eletrolito: 05 (cinco) afastamentos mínimos (d) entre anodos (35 cm, 100 cm, 500 cm, 1.000 cm e 5.000 cm);
- Resistências de contato anodos/eletrolito pelas equações de Dwight e Sunde.

Foram utilizadas as seguintes equações:

Equação geral de Sunde para anodos submersos em eletrólitos infinitos e obtida através das equações tradicionais de Dwight.

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left[\ln \left(\frac{L}{r} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r}{L} \right)^2} \right) \right) + \left(\frac{r}{L} \right) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{r}{L} \right)^2} \right] \quad (1)$$

Onde:

- R = Resistencia remota (ohm).
- ρ = Resistividade do eletrólito (ohm.cm).
- L = Comprimento do anodo (cm).
- r = Raio equivalente do anodo (cm).

Equação de Sunde utilizada para calcular a resistência de n condutores paralelos em um arranjo circular.

$$R_n = \frac{1}{n} \cdot \left(R_1(r) + \sum_{m=1}^{n-1} R_1(D \sin m \pi/n) \right) \quad (2)$$

Onde:

- Rn = Resistência n condutores (ohm)
- D = Diâmetro do arranjo circular dos n condutores (cm)
- R1(r) = Obtido através da equação (1) (Ohm)
- R1(D sin m π /n) = Obtido através da equação (1) (Ohm)

Para o arranjo circular com 4 (quatro) anodos distribuídos equidistantes, tem-se a equação:

$$R_4 = \frac{1}{4} \left[R_1(r) + 2 \left[R_1 \left(D \sin \frac{\pi}{4} \right) \right] + R_1(D) \right] \quad (3)$$

Como alternativa, com o objetivo de permitir a modelagem de outras configurações, calculou-se a resistência de contato do conjunto anodos/eletrólito através do software CDEGS (Current Distribution, Electromagnetic Fields, Grounding and Soil Structure Analysis), na versão 14.0.380, da empresa SESTECH – Safe Engineering Services & Technologies LTD., sediada em Quebec, Canadá. Um software para o cálculo de resistências de aterramento. Este software CDEGS é composto pelos módulos: RESAP, MALT, MALZ, TRALIN, SPLITS, FCDIST e SESCAD. Para o caso em questão foi utilizado o módulo MALT.

A norma DNV-RP-B401 2010 – Cathodic Protection Design indica que para anodos longos (grandes) distâncias entre eles, maiores que 50 cm (cinquenta centímetros), são consideradas suficientes para tornar as interferências mútuas desprezíveis (4).

Resultados

Utilizando-se as equações (1) e (3), pode-se calcular a resistência de contato de quatro anodos para diferentes afastamentos e os resultados dos cálculos podem ser visualizados na tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Cálculo da resistência de contato anodos/eletrólito obtidos com equações analíticas

Distância entre anodos (cm)	Diâmetro do arranjo circular dos anodos (cm)	Raio Equivalente dos anodos (cm)	Comprimento dos anodos (cm)	Resistividade do eletrólito (Ohm.cm)	Resistência de contato anodos/eletrólito (Ohm)
35	49,50	15,12	250	25	0,030430
100	141,42	15,12	250	25	0,020889
500	707,11	15,12	250	25	0,012826
1.000	1.414,21	15,12	250	25	0,011519
5.000	7.071,07	15,12	250	25	0,010448

Utilizando-se o software pode-se calcular a mesma resistência e os resultados dos cálculos podem ser visualizados na tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Cálculo da resistência de contato anodos/eletrólito obtidos com o software CDEGS

Distância entre anodos (cm)	Raio Equivalente dos anodos (cm)	Comprimento dos anodos (cm)	Resistividade do eletrólito (Ohm.cm)	Resistência de contato anodos/eletrólito (Ohm)
35	15,12	250	25	0,040201
100	15,12	250	25	0,025918
500	15,12	250	25	0,016858
1.000	15,12	250	25	0,014693
5.000	15,12	250	25	0,012689

Análise dos Resultados

Conforme esperado, quanto maior o afastamento entre anodos, menor a resistência de contato e, por consequência, menor será a influência dos campos elétricos entre anodos e, portanto menor será também a interferência mútua. Esse comportamento foi observado tanto para o cálculo com as equações analíticas tradicionais quanto para o cálculo com o Software CDEGS. A tabela 3 e a figura 2 mostram de forma sucinta a comparação entre os resultados obtidos.

Tabela 3 – Comparativo dos resultados obtidos com a variação da distância pelos dois métodos.

Resistencia de contato anodos/eletrólito (Ohm)		
Distância entre anodos (cm)	Software CDEGS módulo MALT	Equações analíticas de Dwight e Sunde
35	0,040201	0,030430

100	0,025918	0,020889
500	0,016858	0,012826
1.000	0,014693	0,011519
5.000	0,012689	0,010448

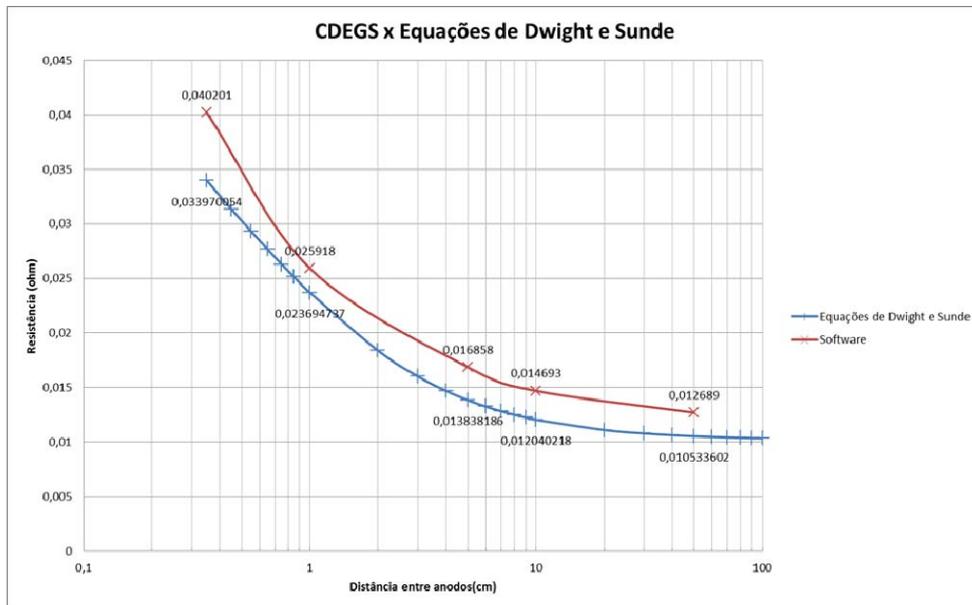


Figura 2 - Gráfico comparativo dos resultados pelos dois métodos

Analisando as curvas, pode-se observar que ambas apresentam o mesmo comportamento e que a diferença entre os valores de resistências de contatos obtidos ficam no entorno de 20%, como pode ser visto na tabela 4.

Tabela 4 – Resultados comparativos das variações entre os dois métodos

Resistencia de contato anodos/eletrólito (Ohm)				
Distância entre anodos (cm)	Software CDEGS módulo MALT	Equações analíticas de Dwight e Sunde	Diferença em módulo das resistências (Ohm)	Diferença percentual
35	0,040201	0,030430	0,009771	24,3%
100	0,025918	0,020889	0,005029	19,4%
500	0,016858	0,012826	0,004032	23,9%
1.000	0,014693	0,011519	0,003174	21,6%
5.000	0,012689	0,010448	0,002241	17,7%

No que tange a afirmativa da Norma DNV de que o afastamento de 50 cm é suficiente para tornar a interferência mútua desprezível vê-se que de fato os valores são pequenos, porém não absolutamente desprezíveis.

Conclusões

Em função dos resultados obtidos, é possível concluir que o software CDEGS pode ser utilizado como alternativa para calcular a resistência de contato ânodo/eletrólito.

Tal conclusão se baseia no fato dos resultados calculados apresentarem a mesma curva característica (Figura 1) além do fato do software fornecer valores mais conservativos do que as equações analíticas.

A utilização do software permitirá modelar qualquer configuração de anodos e fornecerá valores absolutamente confiáveis e de forma rápida sobre a resistência de contato anodo/eletrólito necessária ao cálculo da corrente injetada por grupos de anodos galvânicos.

Concluimos ainda pela conveniência de analisar em futuros trabalhos outros parâmetros que também influenciam na resistência de contato anodo/eletrólito, tais como: o formato dos anodos e as variações de resistividade elétrica dos meios em sistemas galvânicos e corrente impressa.

Referências Bibliográficas

- (1) Dutra, Aldo C. e Nunes, Laerce P. – Proteção Catódica – Técnica de Combate à Corrosão – Editora Interciência, Rio de Janeiro, 5ª edição, 2012.
- (2) Nunes, Laerce P. e Kriescher, Anderson T. - Dimensionamento de Sistemas de Proteção Catódica – Considerações Sobre o Fator Galvânico – COTEQ – ABRACO, Anais, 2011.
- (3) Cochran Jerry, “Anode-to-electrolyte Resistance Equations for Offshore Cathodic Protection”, Materials Performance, NACE; Houston, EUA, 1985.
- (4) - DNV-RP-B401 2010 – Cathodic Protection Design.