

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

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

Revitalização de Sistemas de Proteção Catódica em Unidades Marítimas Semissubmersíveis.

Edson Góis de Medeiros^a, Renato de Mello Brandão Horta^b

Abstract

This paper deals with the technique of cathodic protection and the types of systems used for corrosion protection of the metallic submerged structures of the hull, as well as all the accessories metallurgically connected to the hull, for the semisubmersible maritime units in production at the Campos Basin. The installed systems are subject to physical damage by external agents and/or by adverse environmental conditions, or even reach the end of their estimated lifetime, and so need a revitalization project (retrofit). There will be showed the types of installations of alternative cathodic protection systems designed by PETROBRAS technical staff for replacement and retrofit of the damaged systems and/or that reached the lifetime. There will be presented the practical results of retrofit projects already installed and in operation. They are relatively simple systems that optimize the resources involved in its installation and subsequent maintenance, have relatively low overall cost using few materials which can be purchased in the domestic market, and have shown in the units covered a good efficiency in the cathodic protection of the structures in question.

Keywords: Cathodic protection, suspended anode, impressed current, retrofit.

Resumo

O presente trabalho versa sobre a técnica de proteção catódica e os tipos de sistemas utilizados para proteção anticorrosiva das estruturas metálicas submersas dos cascos, como também dos acessórios interligados metalicamente aos mesmos, de unidades marítimas semissubmersíveis em produção na Bacia de Campos. Os sistemas instalados ficam sujeitos a danos físicos por agentes externos e/ou condições ambientais adversas, ou mesmo chegam ao final de sua vida útil prevista, necessitando assim de um projeto de revitalização (*retrofit*). Serão mostrados os tipos de instalações de sistemas alternativos de proteção catódica dimensionados pelo corpo técnico da PETROBRAS para substituição e revitalização dos sistemas danificados e/ou que chegaram ao final de vida útil. Serão apresentados os resultados práticos de projetos de revitalização já instalados e em operação. São sistemas relativamente simples que otimizam os recursos envolvidos na sua instalação e posterior manutenção, possuem relativo baixo custo global utilizando poucos materiais que podem ser adquiridos no mercado nacional, e que vem demonstrando nas unidades contempladas uma boa eficiência na proteção catódica das estruturas em questão.

Palavras-chave: Proteção catódica, anodo suspenso, corrente impressa, revitalização.

^a Mestre, Engenheiro de Equipamentos Sênior – Petróleo Brasileiro S.A.

^b Engenheiro de Equipamentos Pleno – Petróleo Brasileiro S.A.

1. Introdução

A Bacia de Campos possui diversas unidades marítimas flutuantes de produção de petróleo e gás, dentre elas embarcações monocasco (*hull*) chamadas FPSO (Sistema Flutuante de Produção, Armazenamento e Alívio) e FSO (Sistema Flutuante de Armazenamento e Alívio), como também unidades montadas sobre grandes submarinos/flutuadores (*pontoons*) chamadas de SS (Semissubmersível). Estas unidades estão em operação há bastante tempo, muitas delas com tempo de produção superior a 20 anos. Apesar da técnica já ter sido aplicada a todos os tipos de embarcação citados, o presente trabalho irá focar somente nas unidades semissubmersíveis.

Para a garantia da proteção contra corrosão na região submersa dessas grandes estruturas metálicas, é necessário a instalação de sistemas específicos projetados para tal finalidade. Os sistemas de proteção anticorrosiva especificados para plataformas semissubmersíveis são compostos normalmente por esquema de pintura/revestimento complementado pela técnica de proteção catódica. Com o passar do tempo o esquema de pintura e/ou revestimento aplicado na unidade marítima vai se deteriorando gradativamente, apresentando diversas falhas, e assim requerendo cada vez mais a atuação do sistema de proteção catódica (SPC), que nesses casos deixa de ser um sistema anticorrosivo complementar e passa a ser decisivo na proteção das estruturas situadas na região submersa. Deve-se entender ainda que em condições normais de operação e integridade das instalações não se considera a desmobilização periódica da unidade para passar por uma reforma geral em estaleiro, portanto devendo todos os serviços de manutenção e substituição de estruturas e equipamentos serem feitos na própria localização. Com isso o projeto, o planejamento para execução de serviços *in loco*, os equipamentos envolvidos em quaisquer reformas a bordo, como também a qualidade/quantidade de mão de obra envolvida no serviço deve levar em condição essa premissa.

Foi pensando nisso que a PETROBRAS iniciou há alguns anos atrás o desenvolvimento de projetos de revitalização dos sistemas de proteção catódica de suas unidades semissubmersíveis de forma mais simplificada mantendo-se a eficiência requerida. Contou com o apoio de fornecedores de materiais e prestadores de serviços na área de proteção catódica. No decorrer deste trabalho serão apresentados alguns desses sistemas, suas configurações, algumas das unidades onde foram instalados, a situação atual de operação e pontos de melhoria.

2. Tipos de sistemas instalados

2.1 - Sistema com anodos em tirantes – Aplicação na plataforma P-21 (1)

2.1.1 – Histórico do sistema de proteção catódica

O sistema originalmente instalado era por corrente galvânica, através de anodos de sacrifício fixados por meio de solda ao longo de toda a extensão submersa do casco. Estima-se que foram instalados em torno de 600 anodos a 650 anodos galvânicos o que demandou, mesmo em dique seco, grande volume de mão-de-obra.

O sistema necessitou de uma revitalização devido ao atingimento da vida útil (consumo da massa anódica) passando assim para corrente impressa com a utilização de anodos instalados em tirantes (figuras 1 e 2). Este tipo de sistema foi uma adaptação de projetos já adotados no exterior para revitalização em jaquetas de plataformas fixas. Parâmetros de projeto conforme abaixo:

- Sistema de corrente impressa do casco
 - Área externa total: 12.600 m²
 - Corrente total de proteção catódica: 882 A.
 - Vida útil: 10 anos.

O sistema de corrente impressa foi comissionado em 1999. Atualmente a plataforma não pertence mais aos ativos da PETROBRAS.

2.1.2 – Configuração do sistema de proteção catódica revitalizado (anodos em tirantes)

Tabela 1 – Composição do SPC com anodos em tirantes

Item	Descrição
Nº retificadores	2
Saída nominal de cada retificador	450 Acc (aut./manual)
Nº anodos	12 sendo 3 por tirante
Material dos anodos	Titânio ativado com óxidos mistos de metais nobres (Ti MMO)
Dimensões dos anodos	Tubular (31,75 mm x 1.000 mm)
Nº Eletrodos de referência (ER)	2
Especificação do ER	Semicélula de prata/cloreto de prata (ER Ag/AgCl) fixada em tirante
OBS.:	Anodos e ER instalados em tirantes distintos

Tabela 2 – Capacidade do sistema

Item	Capacidade
Por anodo	75 A (para 10 anos)
Por tirante	225 A (3 anodos)
Total	900 A

2.2 - Sistema com anodos suspensos (pendulares) deslocados através de cabo guia (“Diverless”) - Aplicação na plataforma P-20 (2) e (3)

2.2.1 - Histórico do sistema de proteção catódica

A proteção da superfície externa do casco inclui os flutuadores, colunas, contraventamentos (*bracing*), *fairleaders*, e outras estruturas externas em contato elétrico simultâneo com o casco e com a água do mar (eletrólito).

Para a proteção anticorrosiva dessas estruturas estima-se que foi projetado originalmente, na época da construção da unidade em 1983, o sistema de proteção catódica por corrente galvânica; porém com a chegada ao final da vida útil dos anodos galvânicos, o sistema foi remodelado para corrente impressa, também com a conversão da unidade para produção (pela PETROBRAS).

O primeiro sistema de proteção catódica por corrente impressa a ser projetado e instalado para a unidade é datado de meados de 1990, e foi todo realizado em estaleiro durante a conversão da unidade. Neste sistema foi prevista a instalação de 4 retificadores cada qual ligado a uma dupla de anodos de Titânio Platinizado (Ti/Pt) e a um eletrodo de referência de zinco (ER Zn) para a monitoração do potencial estrutura/água e para a regulação automática dos retificadores. O sistema então era composto por 4 retificadores, 8 anodos e 4 eletrodos de referência de zinco. As duplas de anodos e os ER Zn eram instalados fixados diretamente na superfície dos flutuadores. Esse sistema foi projetado para uma vida útil de 10 anos, com previsão de finalização da operação dos anodos entre os anos 2000 e 2001. Parâmetros de projeto conforme abaixo:

- Sistema de corrente impressa do casco
 - Área externa total: 11.586 m²
 - Corrente total de proteção catódica: 807 A.

Neste primeiro sistema por corrente impressa ocorreram muitos problemas no decorrer da sua operação, relacionados ao mau funcionamento de retificadores, problemas com módulos de controle dos equipamentos, saída de conjunto de anodos de operação, etc, deixando eventualmente a estrutura do casco sujeita ao processo corrosivo.

No final de 1999 foi concebido pela PETROBRAS um novo tipo de projeto de sistema de proteção catódica por corrente impressa, utilizando-se anodos remotos em relação ao casco, e posicionados de forma suspensa dentro da água, a uma distância pré-definida do fundo dos flutuadores. O sistema de anodos do tipo suspenso, para a proteção catódica do casco de P-20, foi projetado originalmente com 2 retificadores, 4 anodos de titânio ativado com óxidos mistos de metais nobres (Ti MMO) e 4 eletrodos de referência permanentes de zinco (ER Zn). Cada dupla anodo/ER Zn foi instalada de forma pendular à aproximadamente 10 m abaixo do fundo de cada flutuador, sendo cada conjunto localizado em cada extremidade do costado interno dos dois flutuadores.

A instalação final do projeto de corrente impressa com sistema de anodos suspensos ocorreu no período entre março e abril de 2000, e foi registrado no relatório de intervenção submarina. Em 15/04/2000 o sistema foi energizado. Foram realizadas as primeiras medições de potencial estrutura/água em 14 pontos conforme a seguir: fundo e teto dos flutuadores, nos dois contraventamentos, e no costado externo das quatro colunas com valores de potencial entre -0,757 Vcc e -0,926 Vcc. A estreita faixa de 169 mV mostrou de imediato a viabilidade técnica de proteção pelo novo sistema concebido, por poder através do ajuste de corrente se inserir nos 300 mV da faixa recomendada (entre -800 mV e -1100 mV). No decorrer da operação do sistema de anodos suspensos algumas falhas mecânicas ocorreram, fazendo com que 2 conjuntos anodo/ER Zn saíssem de operação. Dessa maneira constatou-se, através de posterior reajuste do sistema e novas medições de potencial, que ainda assim os outros 2 conjuntos remanescentes, localizados em proa/BB e popa/BE, asseguraram a proteção catódica do casco da unidade.

A operação de apenas 2 conjuntos, e mais as dificuldades verificadas durante a primeira instalação do sistema, motivou a evolução deste tipo de projeto (com anodos suspensos), e direcionou o desenvolvimento de outro projeto mais otimizado, elaborado e concebido pela PETROBRAS, contemplando uma configuração que independesse em situações normais de serviços de mergulho para a sua operação. Esta nova concepção de projeto passou a chamar-se “Sistema de Anodos Diverless”. Este projeto é datado de julho de 2002 e previsto para uma vida útil de 20 anos.

A diferença conceitual entre o sistema de anodos do tipo suspenso (1999) e o tipo “Diverless” (2002) está no fato deste segundo tipo permitir manutenção do conjunto suspenso sem a necessidade de intervenção por mergulhadores, além da utilização de apenas 2 conjuntos suspensos diagonalmente opostos sendo um em proa/BB e outro em popa/BE (figuras 3 e 4). Abaixo estão listadas algumas mudanças que foram implementadas com o sistema “Diverless”:

- O conjunto suspenso não é mais fixado diretamente ao olhal submarino, e sim pendurado a um cabo-guia fixado a este (figura 5).

- O conjunto suspenso tem como alteração básica a substituição da placa triangular por um dispositivo, o “carro”, que abraça o cabo-guia e permite o seu deslizamento para a instalação e recolhimento do conjunto suspenso (fotos 2 e 4). Da mesma maneira que no sistema original, os anodos depois de instalados ficam situados cerca de 10 m abaixo do olhal submarino.

- Para o esticamento dos cabos-guias são utilizados os olhais submarinos existentes de proa/BB e popa/BE, e pontos emersos determinados.

O início estimado do funcionamento do sistema “Diverless” foi em novembro de 2002 e permanece em operação até hoje.

2.2.2 - Configuração dos sistemas de proteção catódica por corrente impressa instalados

Com base no histórico do sistema é apresentada a seguir uma tabela com a composição básica dos sistemas de proteção catódica por corrente impressa instalados a partir de 1990.

Tabela 3 – Composição do SPC por corrente impressa

Item	Sistema convencional (1990)	Sistema de anodos remotos do tipo suspenso (1999)	Sistema remoto do tipo suspenso (após saída de operação de 02 conjuntos de anodo/ER)	Sistema remoto do tipo suspenso “Diverless” (2002) <u>ATUAL</u>
Nº Retificadores	4	2	2	2
Saída nominal de cada retificador	15 Vcc / 200 Acc	14 Vcc / 400 Acc	14 Vcc / 400 Acc	14 Vcc / 400 Acc
Nº anodos	8	4	2	2
Material dos anodos	Ti/Pt	Ti MMO	Ti MMO	Ti MMO
Dimensões dos anodos	2 placas de Ti/Pt 1.270 mm x 60mm x 3 mm	Cilíndrico 2.540 mm x 100 mm	Cilíndrico 2.540 mm x 100 mm	Cilíndrico 2.540 mm x 100 mm
Corrente máxima por anodo	100 A	200 A	200 A	200 A
Nº ER Zn	4	4	2	2
Especificação dos ER Zn	Zinco tipo SHG (MIL-A-18001H) (4)	Zinco tipo SHG (MIL-A-18001H)	Zinco tipo SHG (MIL-A-18001H)	Zinco tipo SHG (MIL-A-18001H)
OBS.: 1	Anodos e ER instalados separados. Anodos instalados em duplas	Anodo e ER Zn instalados juntos (mesmo cabo guia)	Anodo e ER Zn instalados juntos (mesmo cabo guia)	Anodo e ER Zn instalados juntos (mesmo cabo guia)

2.3 - Sistema com anodos suspensos (pendulares) com fixação intermediária em contraventamento – Aplicação na plataforma P-15 (5)

2.3.1 – Histórico do sistema de proteção catódica

A proteção da superfície externa do casco inclui os flutuadores, colunas, contraventamentos (*bracing*), *fairleaders*, e outras estruturas externas submersas em contato elétrico simultâneo entre si e com a água do mar (eletrólito).

Para a proteção anticorrosiva dessas estruturas foi projetado originalmente o sistema de proteção catódica por corrente galvânica. Parâmetros de projeto conforme abaixo:

- Sistema de corrente galvânica do casco
 - Área externa total: 19.120 m²
 - Corrente total de proteção catódica: 956 A
 - Densidade de corrente média: 50 mA/m²
 - Vida útil dos anodos: 20 anos (ver nota a seguir).

O projeto de corrente galvânica foi elaborado em 1981, e provavelmente foi instalado durante a obra de construção da unidade em 1983. Foram utilizados anodos em liga de alumínio e foram especificados 3 tipos de anodos conforme a finalidade, dimensão e peso de cada um.

Tabela 4 – Composição do SPC por corrente galvânica

Item	Descrição		
Material do anodo	Liga de alumínio (ALANODE)		
Peso bruto / líquido por anodo	71 kg / 64,4 kg	36,3 kg / 29,7 kg	43,7 kg / 38,4 kg
Quantidade	210	224	80
Total	514		
Massa anódica total	23.248,80 kg		

Nota: A vida útil de projeto efetivamente adotada para todos os anodos foi de 20 anos. Conforme os anodos foram se desgastando e chegando ao final da vida estes não foram substituídos. O sistema permaneceu sendo monitorado visualmente e realizadas as medições de potencial nas campanhas de inspeção submarina.

Entre abril e novembro de 2005 foi elaborado um novo projeto de proteção catódica, sendo este por corrente impressa, concebido pela PETROBRAS, para substituição do sistema galvânico existente.

A prática de realização de projetos por corrente impressa, para proteção anticorrosiva da superfície externa de cascos de plataformas do tipo SS, utilizando-se anodos inertes suspensos como alternativa ao sistema galvânico, e na própria locação da unidade marítima, motivou a

adoção deste tipo de sistema também em P-15, após experiências anteriores em plataformas como P-22 (já desmobilizada), P-21 (atualmente não pertence mais à PETROBRAS) e P-20, respectivamente. No caso de P-15, o sistema já foi concebido para 2 anodos inertes, após se confirmar no sistema instalado anteriormente em P-20, que se poderia utilizar somente 2 ao invés de 4 anodos para obtenção dos potenciais de proteção catódica. Os anodos inertes empregados também são de titânio ativado com óxidos mistos de metais nobres (Ti MMO).

O sistema de corrente impressa com anodos suspensos foi instalado no período de junho a julho de 2008. Os dois conjuntos anodo/ER Zn foram lançados na direção do *bracing* 03 (proa) e do *bracing* 08 (popa), figura 8, e seus cabos elétricos e os de sustentação em aço foram fixados a estes *bracings* através de braçadeiras (figuras 6 e 7). Os *bracings* estão situados na profundidade aproximada de -13m e os anodos ficaram posicionados 7 metros mais abaixo.

O sistema galvânico permaneceu sendo monitorado até a pré-operação do sistema por corrente impressa. Antes da partida do sistema por corrente impressa a proteção foi avaliada através de medições de potencial em 12 pontos nos flutuadores (*pontoons*) previamente definidos utilizando-se eletrodo de referência portátil de Ag/AgCl e multímetro digital (figura 9). O eletrodo foi posicionado na profundidade média de -10 m, um pouco acima do contraventamento, considerando-se um calado de 20 m.

Os retificadores do sistema foram pré-operados entre 19 e 23/01/09. Na partida foi verificado que os equipamentos não funcionavam em modo automático. O retificador de proa permaneceu ligado, operando em modo manual com corrente de saída em torno de 60 Acc. Após a regularização da operação dos retificadores a equipe finalizou a ligação do segundo equipamento e efetuou os ajustes finais do sistema em agosto de 2009, permanecendo em operação até hoje.

2.3.2 – Configuração do sistema de proteção catódica revitalizado (anodos suspensos)

Tabela 5 – Composição do SPC com anodos suspensos

Item	Descrição
Nº retificadores	2
Saída nominal de cada retificador	24 Vcc / 200 Acc
Nº anodos	2
Material dos anodos	Ti MMO
Dimensões dos anodos	Cilíndrico 2.500 mm x 120 mm
Corrente máxima por anodo	250 A
Nº ER Zn	2
Especificação dos ER Zn	Zinco tipo SHG

Item	Descrição
	(norma MIL-A-18001H)
OBS.:	Anodo e ER Zn instalados no mesmo conjunto de cabos

Tabela 6 – Capacidade do sistema

Item	Capacidade
Por anodo	250 A (para 20 anos)
Total	400 A (limitado a saída nominal dos dois retificadores)

3. Resultados e discussão

3.1 - Sistema com anodos em tirantes (plataforma P-21)

Foi realizada uma inspeção submarina no período entre janeiro e março de 2000, onde foram feitos os seguintes registros relativos ao sistema de proteção anticorrosiva da plataforma:

- O esquema de pintura apresentava diversas falhas dispersas.
- Foram substituídos os 2 eletrodos de referência permanentes que encontravam-se inoperantes, passando o sistema a ficar totalmente íntegro e funcional.
- Na inspeção não foram obtidas informações sobre a operação dos retificadores (parâmetros de saída).
- Seguindo o plano de inspeção da unidade foram realizadas 25 medições de potencial eletroquímico, nas estruturas do casco (colunas, flutuadores e contraventamentos) em profundidades variadas entre -4 m e -20 m, onde foram verificados valores entre -0,993 Vcc e -1,226 Vcc.
- Durante a inspeção foi solicitada a medição de potencial em mais 50 pontos ao longo da estrutura, em profundidades variando entre -3 m e -18 m onde foram obtidos valores de potencial entre - 0,961 Vcc e -1,165 Vcc.
- Do total de pontos medidos 12 deles apresentaram valores mais negativos que 1,100 Vcc indicando superproteção no entorno destes pontos. O restante apresentou valores adequados dentro do critério de proteção catódica. Observar que esta pequena superproteção pode ser eliminada pela simples redução da corrente visto que a faixa de potencial recomendada (300 mV) comporta perfeitamente a faixa total encontrada na inspeção (204 mV).

Após essa inspeção não foram encontrados outros registros de inspeção submarina uma vez que a unidade alguns anos mais tarde foi desativada.

2.2 - Sistema com anodos suspensos - “Diverless” (plataforma P-20)

O sistema instalado vem operando nas seguintes condições:

Tabela 7 - Operação do SPC de P-20

Item	Descrição
Inspeção de classe (2006 a 2008)	
Retificadores	10 Vcc / 100 Acc (cada um)
Resistência de circuito	0,100 Ω
Potencial eletroquímico (ER Ag/AgCl)	-0,857 Vcc a -1,033 Vcc (18 pontos medidos)
Inspeção de classe (2008)	
Retificadores	9 Vcc / 96 Acc (cada um)
Resistência de circuito	0,094 Ω
Potencial eletroquímico (ER Ag/AgCl)	-0,858 Vcc a -0,991 Vcc (22 pontos medidos)
Inspeção nos <i>fairleaders</i> e amarras (2008 a 2009)	
Retificadores	8 Vcc / 83 Acc (cada um)
Resistência de circuito	0,097 Ω
Potencial eletroquímico (ER Ag/AgCl)	-0,802 Vcc a -0,888 Vcc (nos 12 <i>fairleaders</i> e respectivas amarras até -17m)

Nota: Medições de potencial realizadas com instrumento portátil (*bathycorrometer*), diretamente no casco da plataforma através de mergulho raso.

O sistema com anodos suspensos apresentou alguns problemas no decorrer do seu funcionamento, relacionados a rompimento de cabo na parte submersa ou interrupção de operação de anodo sem causa aparente.

O sistema operando em condições normais oferece a proteção adequada às estruturas do casco. O sistema vem sendo monitorado adequadamente, com medições de potencial estrutura/água ao longo do casco com eletrodo portátil pendular, além das medições realizadas nas campanhas de intervenção e inspeção submarina coordenadas pela gerência de serviços submarinos da PETROBRAS.

De maneira geral a pintura do casco está bastante degradada, devido o tempo em operação da plataforma, com isso é imprescindível que o sistema de proteção catódica funcione a contento, pois atualmente é o único sistema anticorrosivo instalado capaz de imunizar a estrutura do casco contra a corrosão.

Os dois retificadores podem injetar uma corrente em torno de 140A cada um, em função da resistência de circuito, mas operam satisfatoriamente com corrente em torno de 90 A (64% da capacidade de injeção), não sobrecarregando seus transformadores e componentes internos.

2.3 - Sistema com anodos suspensos (plataforma P-15)

O sistema instalado vem operando nas seguintes condições:

Tabela 8 - Operação do SPC de P-15

Item	Descrição
Inspeção julho 2010	
Retificadores	4,9 Vcc / 51,7 Acc (popa) 8,3 Vcc / 81,6 Acc (proa)
Resistência de circuito	0,095 Ω (popa) 0,102 Ω (proa)
Potencial eletroquímico (ER Ag/AgCl)	-0,815 Vcc a -0,973 Vcc (12 pontos medidos)
Potencial eletroquímico (ER Zn)	0,128 Vcc (popa) 0,127 Vcc (proa)
Inspeção março 2011	
Retificadores	popa inoperante 6,2 Vcc / 71,4 Acc (proa)
Resistência de circuito	0,087 Ω (proa)
Potencial eletroquímico (ER Ag/AgCl)	-0,813 Vcc a -0,893 Vcc (12 pontos medidos)
Potencial eletroquímico (ER Zn)	0,113 Vcc (proa)
Inspeção dez. 2011	
Retificadores	2,9 Vcc / 13,5 Acc (popa) 5,1 Vcc / 45,6 Acc (proa)
Resistência de circuito	0,215 Ω (popa) 0,112 Ω (proa)
Potencial eletroquímico (ER Ag/AgCl)	-0,813 Vcc a -0,893 Vcc (12 pontos medidos)

Potencial eletroquímico (ER Zn)	0,088 Vcc (popa) 0,090 Vcc (proa)
---------------------------------	--------------------------------------

Nota: Medições de potencial realizadas com multímetro digital, tomadas a partir de eletrodo portátil de Ag/AgCl descido a partir do deck da plataforma e posicionado em pontos pré-definidos pela operação da unidade, e também medições nos eletrodos de referência permanentes de zinco.

A estrutura do casco apresenta valores de potencial dentro do critério de proteção catódica. O sistema de P-15, assim como o de P-20, quando opera em condições normais oferece a proteção adequada. O sistema de P-15 também apresentou ao longo do tempo alguns problemas relacionados a danos ao conjunto de anodo/ER na parte submersa o que levou o sistema a operar somente com um anodo durante determinado período até que o outro conjunto fosse substituído (ou restaurado) e reinstalado.

A pintura do casco na região submersa encontra-se bastante deteriorada. Supõe-se que o último serviço de pintura executado na superfície do casco tenha sido quando da conversão da unidade de perfuração para produção, ou seja, há pelo menos 14 anos atrás. Como tecnicamente não é viável a execução da pintura de manutenção com a unidade na locação, é fundamental que o sistema de proteção catódica funcione adequadamente, sem interrupções não programadas, pois atualmente é a única tecnologia de proteção anticorrosiva capaz de imunizar a estrutura submersa do casco contra a corrosão pela água do mar.

Pelas condições atuais de operação do sistema o retificador de popa pode injetar em torno de 110 A e o retificador de proa pode injetar a nominal do retificador (200 A). Ambos operam com corrente de saída bem abaixo disso sendo o de popa com 14 A (12,7% da capacidade de injeção) e o retificador de proa com 46 A (23% da capacidade de injeção), não sobrecarregando seus transformadores e componentes internos.

Conclusões

A evolução dos projetos de revitalização de sistemas de proteção catódica especificados para plataformas semissubmersíveis para sistemas mais compactos, com menos equipamentos e dispositivos instalados (cabos elétricos, anodos, bandejas elétricas, eletrodos de referência, etc) trouxe redução de custo na instalação, operação e manutenção, sem com isso reduzir a performance do sistema, mantendo-se a proteção e garantia da integridade das estruturas metálicas submersas do casco.

Os requisitos básicos necessários ao projeto de revitalização de um sistema de proteção catódica são:

- robustez do sistema
- facilidade de instalação e de retirada;
- facilidade de operação;
- facilidade de manutenção;
- arranjo físico do sistema resistente a danos mecânicos (interferência com embarcações, quedas de objetos, ondas, correnteza, etc);

- qualidade dos materiais a serem empregados;
- compatibilidade dos materiais a serem empregados.

Os sistemas de anodos remotos do tipo suspenso por serem mais otimizados necessitam de acompanhamento periódico, onde quaisquer problemas detectados sejam sanados na maior brevidade possível, de forma restabelecer a condição de operação normal e a garantia da integridade das instalações sob sua proteção.

O acompanhamento do sistema deve englobar pelo menos:

- leitura semanal dos instrumentos do painel dos retificadores, e conferência com a medição direta por meio de instrumento portátil digital;
- medição semanal dos valores de potencial eletroquímico nos eletrodos de referência permanentes;
- medição mensal dos potenciais eletroquímicos em pontos pré-definidos, em torno de 12 a 20 locais dependendo da configuração da plataforma, utilizando eletrodo de referência portátil de Ag/AgCl;
- anotação das informações em formulários apropriados para tal finalidade (sugestão: planilha Excel ou similar), para geração de gráficos e comparação dos valores;
- inspeção submarina recomendável pelo menos uma vez por ano para verificação da integridade das instalações dos sistemas e de seus componentes.

Com relação a alguns dos danos sofridos por anodos do sistema suspenso, independentemente do tipo de sistema utilizado, e dado que ainda não se conseguiu concluir sobre as causas dessas ocorrências, a sugestão é que preventivamente os anodos de titânio funcionem com tensão máxima aplicada de 8 V, seguindo a recomendação da norma DNV-RP-B101 (6). A aplicação de tensão acima desse valor somente mediante consulta ao fabricante do anodo. Fica a sugestão neste trabalho para que os fabricantes de anodos de titânio MMO analisem essa restrição imposta pela norma DNV. Outra sugestão é que no ponto de conexão do cabo com o anodo, e em outros locais onde haja percepção visual que o cabo esteja sofrendo, ou possa sofrer, esforço de dobramento (pequeno raio de curvatura), se instale acessórios específicos para restringir o raio de curvatura (*bend restrictors*) a valores iguais ou superiores aos mínimos permitidos pelos cabos elétricos.

Referências bibliográficas

- (1) MEDEIROS, E. G.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. Aplicação da técnica de anodos em tirantes em plataformas marítimas de petróleo flutuantes para a proteção catódica por corrente impressa, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CORROSÃO, 20., 2000, Fortaleza.
- (2) MEDEIROS, E. G. Alternativas de reposição de sistema de proteção catódica para unidades flutuantes estacionárias de produção - Casos práticos no E&P, In: SEMINÁRIO E&P DE MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS (Petrobras), 1., 2002, Salvador.
- (3) RELATÓRIO TÉCNICO. Diagnóstico do sistema de proteção catódica de P-20. Petrobras, 2009.
- (4) MIL-A 18001K - Anodes, sacrificial zinc alloy.

- (5) RELATÓRIO TÉCNICO. Diagnóstico do sistema de proteção catódica de P-15. Petrobras, 2009.
- (6) DNV-RP-B101 - Corrosion protection of floating production and storage units, Det Norske Veritas, 2007.

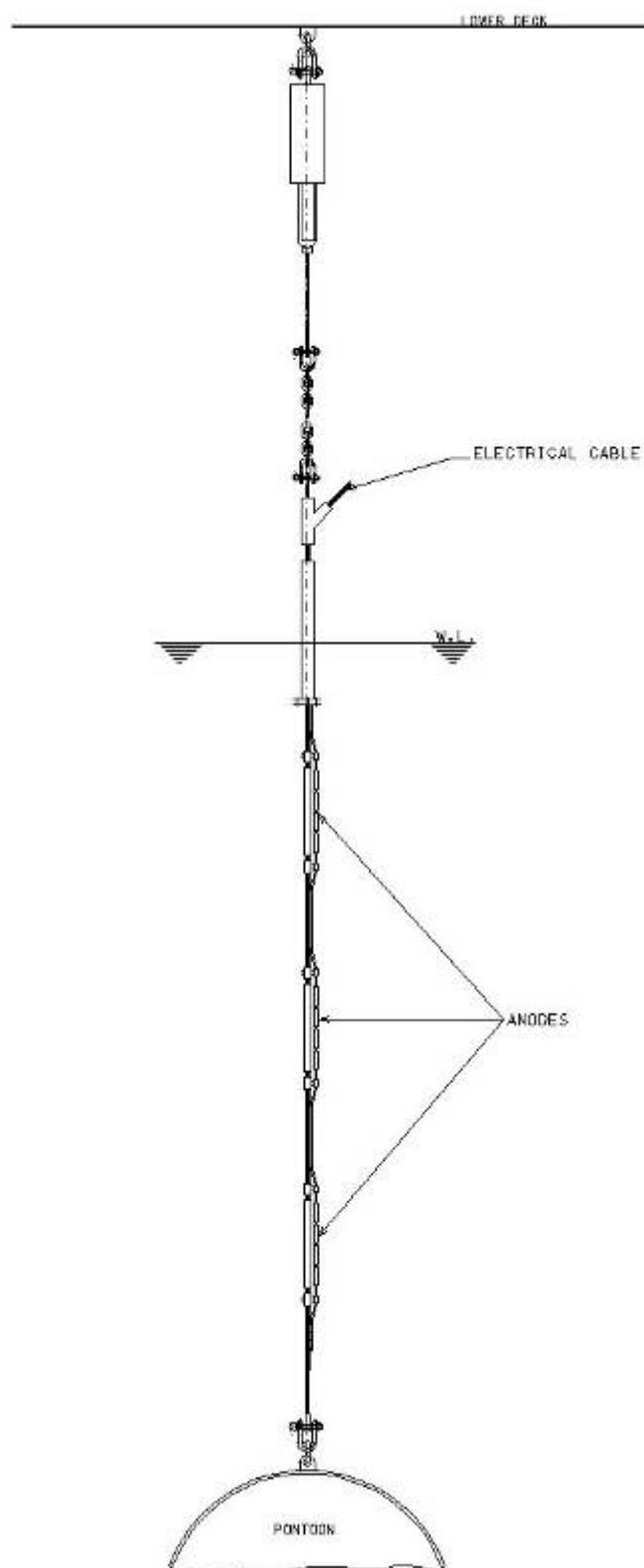


Figura 1 - Plataforma P-21 / Desenho esquemático de um "String" (anodos em tirantes).

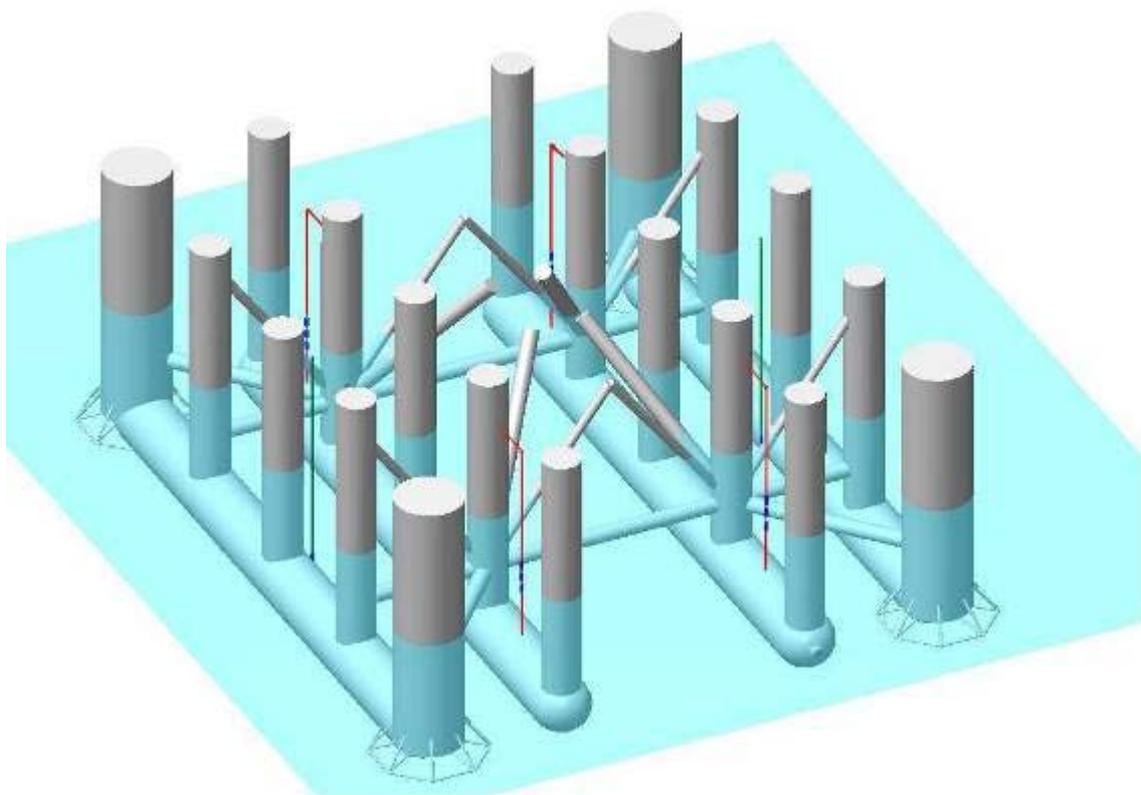


Figura 2 – Plataforma P-21 / Localização dos 4 conjuntos de anodos em tirantes no modelo 3D

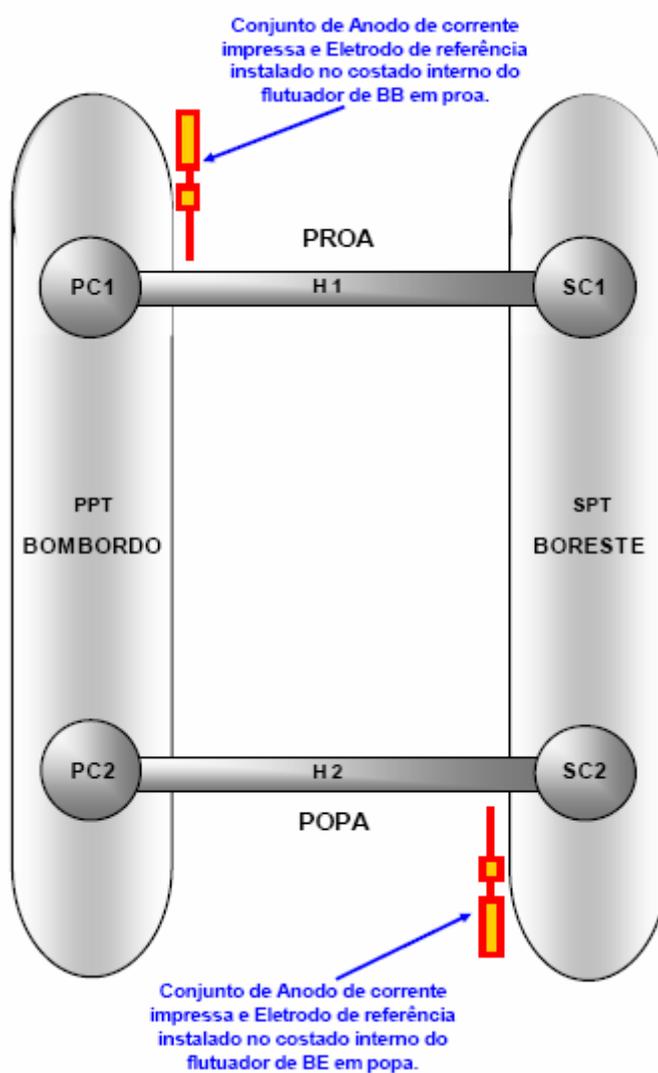


Figura 3 – Plataforma P-20 / Localização dos 2 conjuntos de anodo/ER Zn do Sistema “Diverless”

PETROBRAS XX
PROA-BORESTE

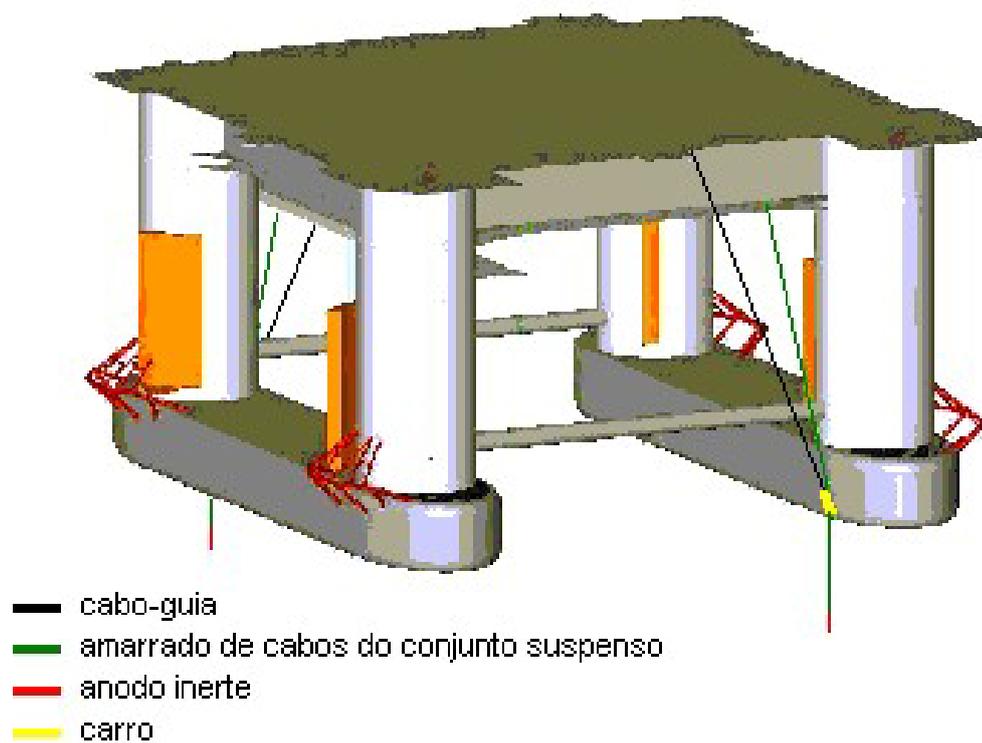


Figura 4 – Plataforma P-20 / Localização dos 2 conjuntos de anodo/ER Zn do Sistema “Diverless” no modelo 3D

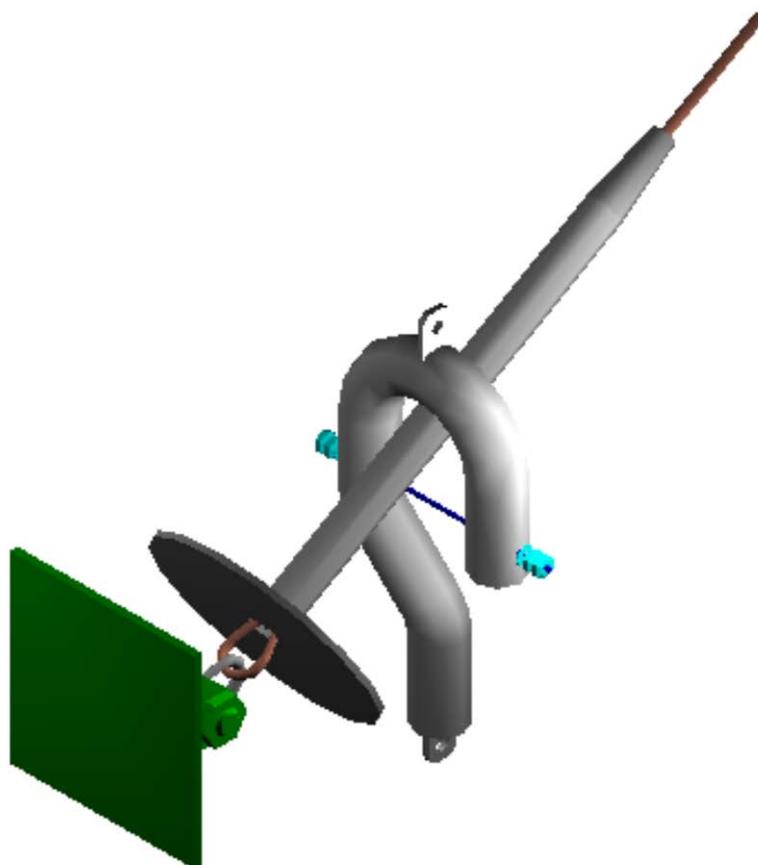


Figura 5 – Plataforma P-20 / Detalhe do ponto de chegada do gancho 4”
no final do cabo guia na região submersa.

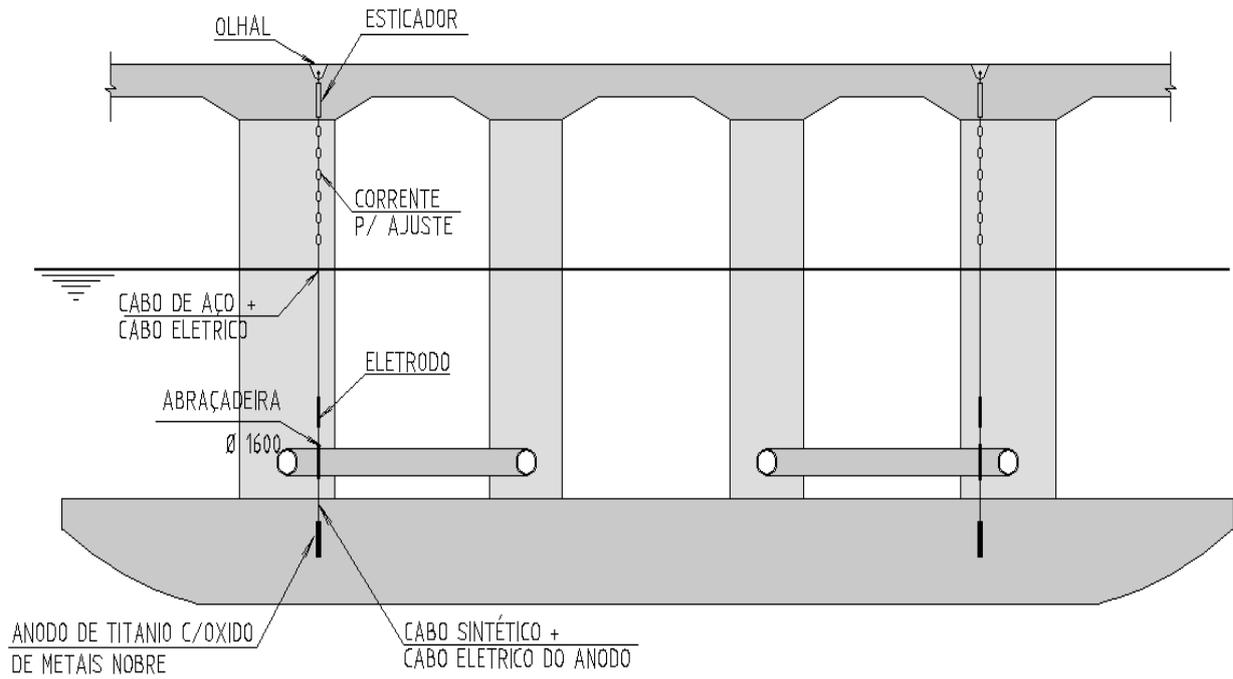


Figura 6 – Plataforma P-15 / Vista lateral do esquema de instalação do conjunto anodo/ER Zn.

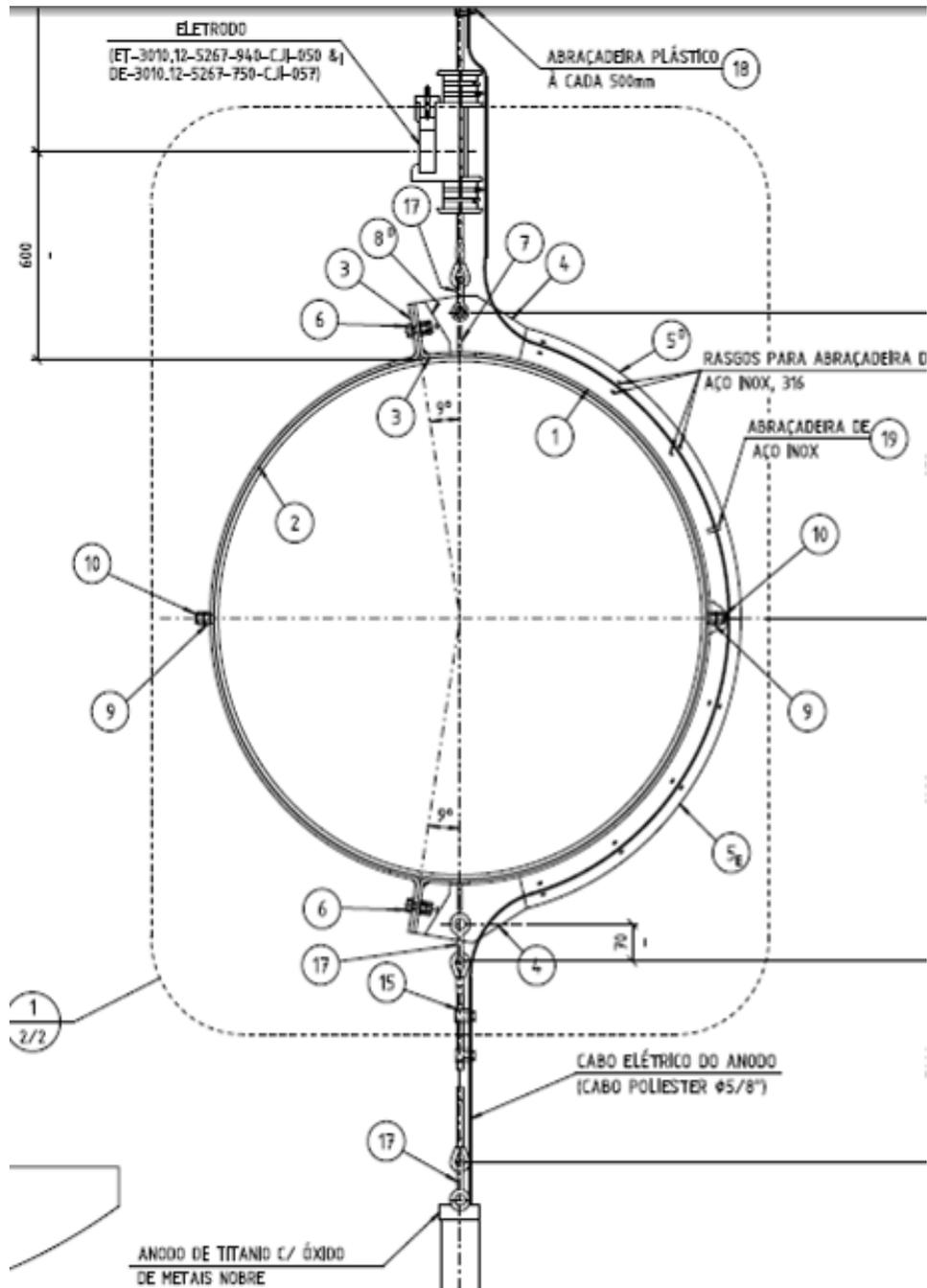


Figura 7 – Plataforma P-15 / Detalhe da fixação do conjunto anodo/ER Zn no contraventamento

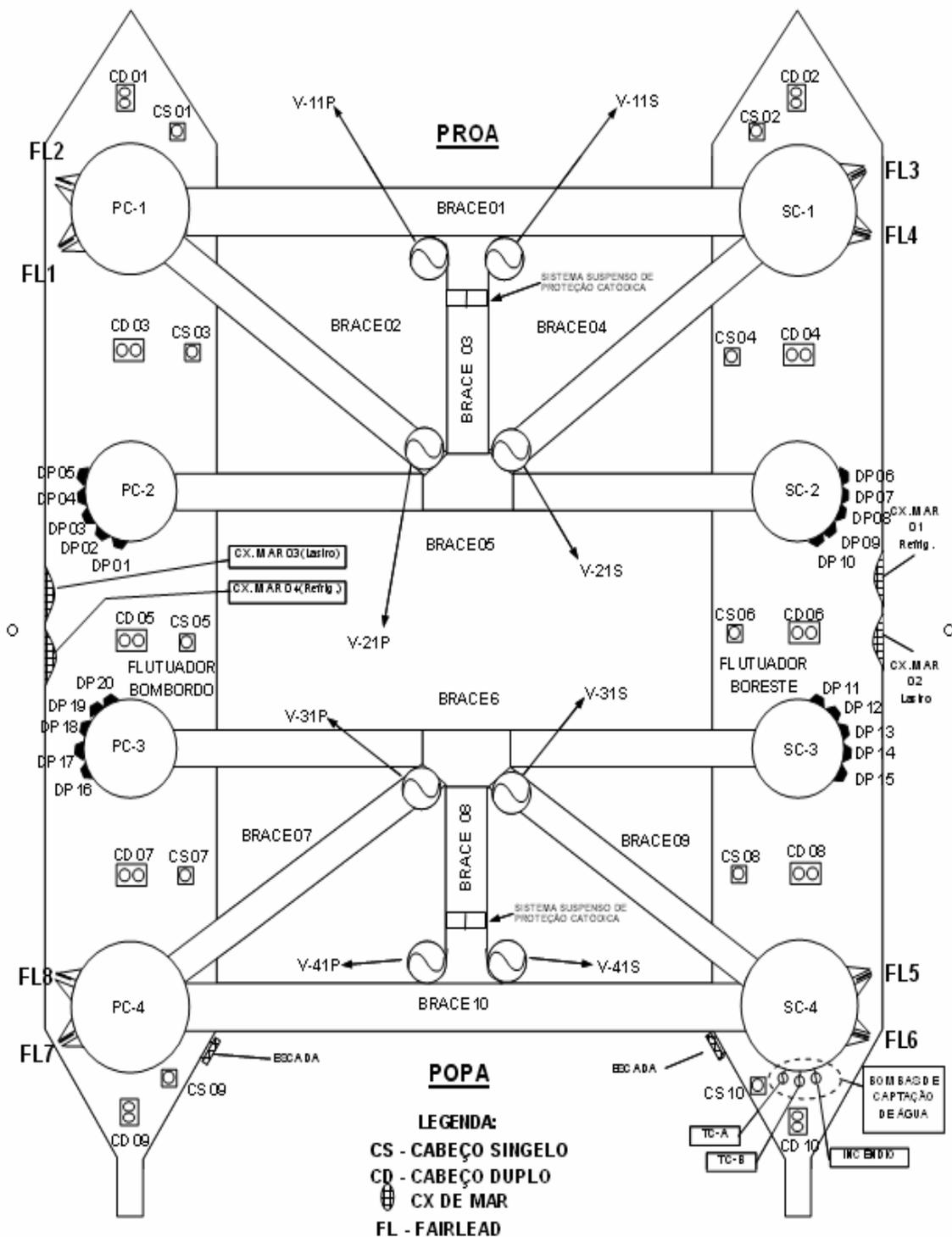


Figura 8 – Plataforma P-15 / Arranjo geral das estruturas submersas e localização do *bracing* 03 (proa) e *bracing* 08 (popa) onde foram fixados por meio de braçadeiras os 2 conjuntos anodo/ER Zn.

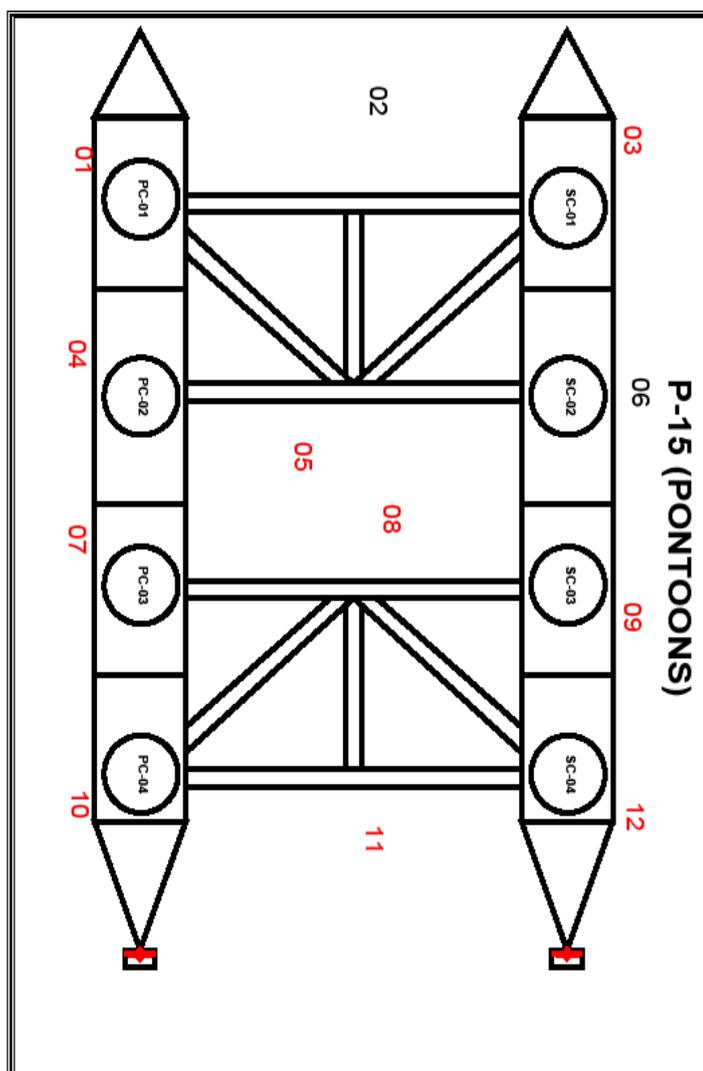


Figura 9 – Plataforma P-15 / Desenho esquemático com a localização dos pontos de medição de potencial eletroquímico com eletrodo de referência portátil (ER Ag/AgCl)



Foto 1 – Plataforma P-20 / Detalhe do conjunto anodo/ER Zn já inspecionado pronto para instalação



Foto 2 – Plataforma P-20 / Detalhe do gancho 4”

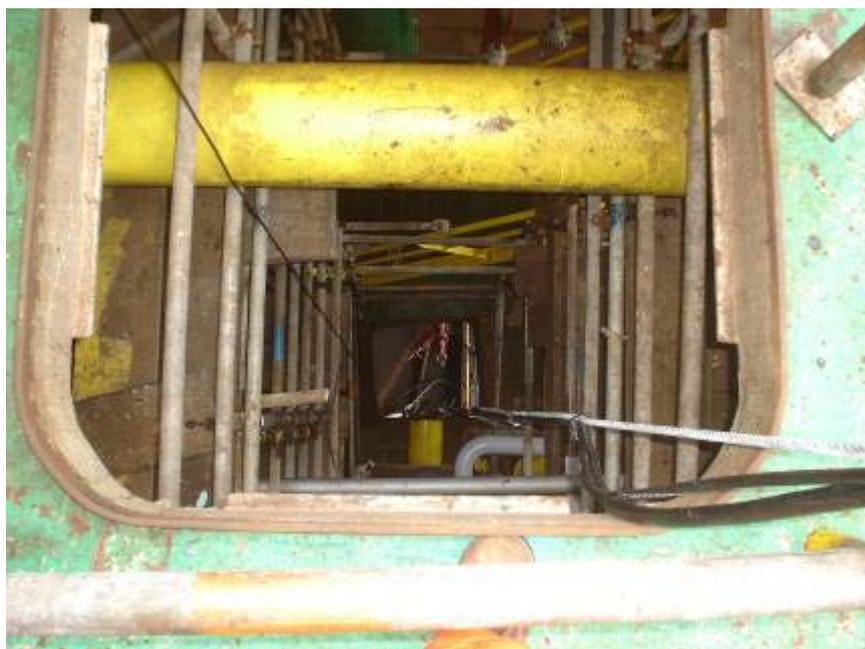


Foto 3 – Plataforma P-20 / Escotilha preparada no convés para descida de um dos conjuntos anodo/ER Zn

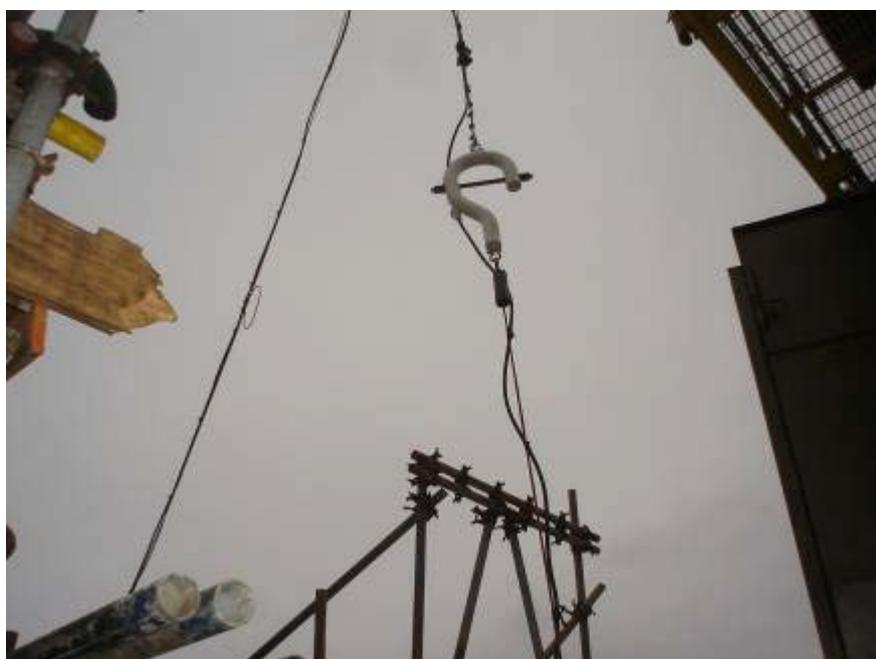


Foto 4 – Plataforma P-20 / Conjunto suspenso sendo alinhado sobre a escotilha do convés para descida ao deck inferior



Foto 5 – Plataforma P-20 / Conjunto posicionados no convés inferior aguardando para ser lançado na água