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).

Cálculo Automatizado de Proteção Catódica.

Renato de Mello Brandão Horta[1]

Abstract

How to protect from corrosion a metallic material that is constantly immersed? The efficient form used for the guarantee of this protection is employing the Cathodic Protection Technique, which needs to be periodically revitalized after the system useful life. In order to obtain the total area to be cathodically protected, design the necessary number of anodes and drive on the distribution of the anodes throughout the metallic surfaces, was developed a specific module of protection cathodic using an existing software already in use by PETROBRAS. In this first development phase the module was approved for the design of the galvanic current cathodic protection system at FPSO (Floating Production Storage and Offloading) type floating units, for example, for load, ballast and/or draining (slop) tanks. As all form of automation, this computing tool will accelerate the consulting and project works in the area of cathodic protection, and will support the action of the offshore technical staff in the installation and assembly of the anodes inside the tanks.

Resumo

Como proteger da corrosão um material metálico que fica sempre imerso? A forma eficaz utilizada para a garantia dessa proteção é através do emprego da Técnica de Proteção Catódica, que precisa ser revitalizada periodicamente ao final da vida útil do sistema. Para facilitar a obtenção da área total a ser protegida catodicamente, dimensionar o número de anodos necessários e orientar na distribuição dos anodos ao longo das superfícies metálicas foi desenvolvido um módulo específico de proteção catódica dentro de um programa existente e já utilizado pela PETROBRAS. Nesta primeira fase de desenvolvimento, o módulo foi aprovado para dimensionamento do sistema de proteção catódica por corrente galvânica em unidades flutuantes do tipo FPSO (Produção, armazenamento e escoamento) como, por exemplo, para tanques de carga, lastro e/ou drenagem (*slop*). Como toda forma de automação, esta ferramenta computacional agilizará o trabalho de consultoria e projeto na área de proteção catódica, e apoiará a ação da equipe técnica de bordo na instalação e montagem dos anodos no interior dos tanques.

Palavras-chave: Proteção catódica, offshore, plataforma, tanques**,** programa

[1] Engenheiro de Equipamentos - Petróleo Brasileiro S.A. / Bacia de Campos

Introdução

As plataformas de produção do tipo FPSO são basicamente ex-navios de transporte de produtos como, por exemplo, petróleo cru (petroleiros) e minérios. Estes navios são então docados em estaleiro e têm toda sua estrutura convertida para operar como unidades estacionárias de produção de petróleo e gás natural (UEP's). As plataformas do tipo FPSO são conhecidas então na PETROBRAS como UEP's, pois se diferenciam dos navios de transporte de carga também por ficarem estacionadas (ancoradas) em um mesmo ponto sem previsão a curto prazo de serem deslocadas para paradas de manutenção em estaleiros. A UEP do tipo FPSO deve operar em alto mar há distâncias superiores há 100 quilômetros da costa e toda a sua estrutura em material metálico, principalmente o aço carbono, deve ser mantida íntegra e livre da corrosão. Para que isso aconteça, são empregadas diversas técnicas de proteção anticorrosiva para a parte externa do casco da unidade e para as superfícies internas dos seus tanques de armazenamento. Uma unidade marítima do tipo FPSO possui três tipos de tanques em aço que devem ser protegidos contra a corrosão, são eles:

- Tanques de carga: compartimentos da embarcação usados para o armazenamento de cargas de petróleo e eventual lastro.

- Tanques de lastro: Compartimentos estanques destinados ao lastro da estrutura oceânica.

- Tanques de drenagem (*slop*): recebem cargas de águas oleosas de equipamentos e tanques, resultantes das etapas de processo da unidade.

Os três tanques mencionados acima armazenam produtos altamente corrosivos às superfícies em aço carbono das chapas empregadas na construção destas estruturas, ou seja, temos como eletrólitos de células eletroquímicas de corrosão que naturalmente se formarão no interior dos mesmos a água do mar (salgada) e a água produzida/oleosa. Para o efetivo combate à corrosão no interior destes tanques são empregadas a técnica de pintura/revestimento complementada pela técnica de proteção catódica com distribuição uniforme e equidistante dos anodos ao longo dos reforços estruturais (os anodos não devem ser instalados, ou seja, soldados ou mesmo conectados mecanicamente, diretamente nas chapas dos tanques com o risco de se danificar a pintura externa do casco da plataforma, principalmente em unidades marítimas que possuam casco do tipo simples). Algumas unidades do tipo FPSO, que foram convertidas há mais de 10 anos de navio para unidades produtoras, e que operam na Bacia de Campos, foram solicitadas à uma revisão do seu plano de anodos, em função de algumas alterações de ordem operacional como por exemplo, variação da altura do volume de água contida no óleo que vai para o interior dos tanques de carga, com conseqüente aumento da área a ser protegida catodicamente; desgaste de anodos e necessidade de reposição; e mesmo a solicitação pela operação da unidade para o redimensionamento do sistema de proteção catódica de todos os tanques.

O objetivo do presente trabalho é mostrar como a utilização de uma ferramenta computacional pode ajudar positivamente a cobrir as etapas principais de um projeto de proteção catódica com anodos galvânicos para interna de tanques como:

- Cálculo com precisão da nova área de proteção catódica em função do volume de água (salgada, produzida ou oleosa) contida em cada tipo de tanque.

- Dimensionamento dos novos anodos.

- Distribuição automática dos novos anodos no interior dos tanques.

Desenvolvimento

O pré-requisito para o desenvolvimento dos cálculos no programa computacional é que a unidade marítima em questão esteja modelada, ou seja, todo o seu casco, compartimentos (tanques), e estruturas internas aos tanques estejam digitalizadas em três dimensões (3D). Na figura 1 a seguir observa-se uma plataforma do tipo FPSO já com seu modelo pronto para ser estudado.

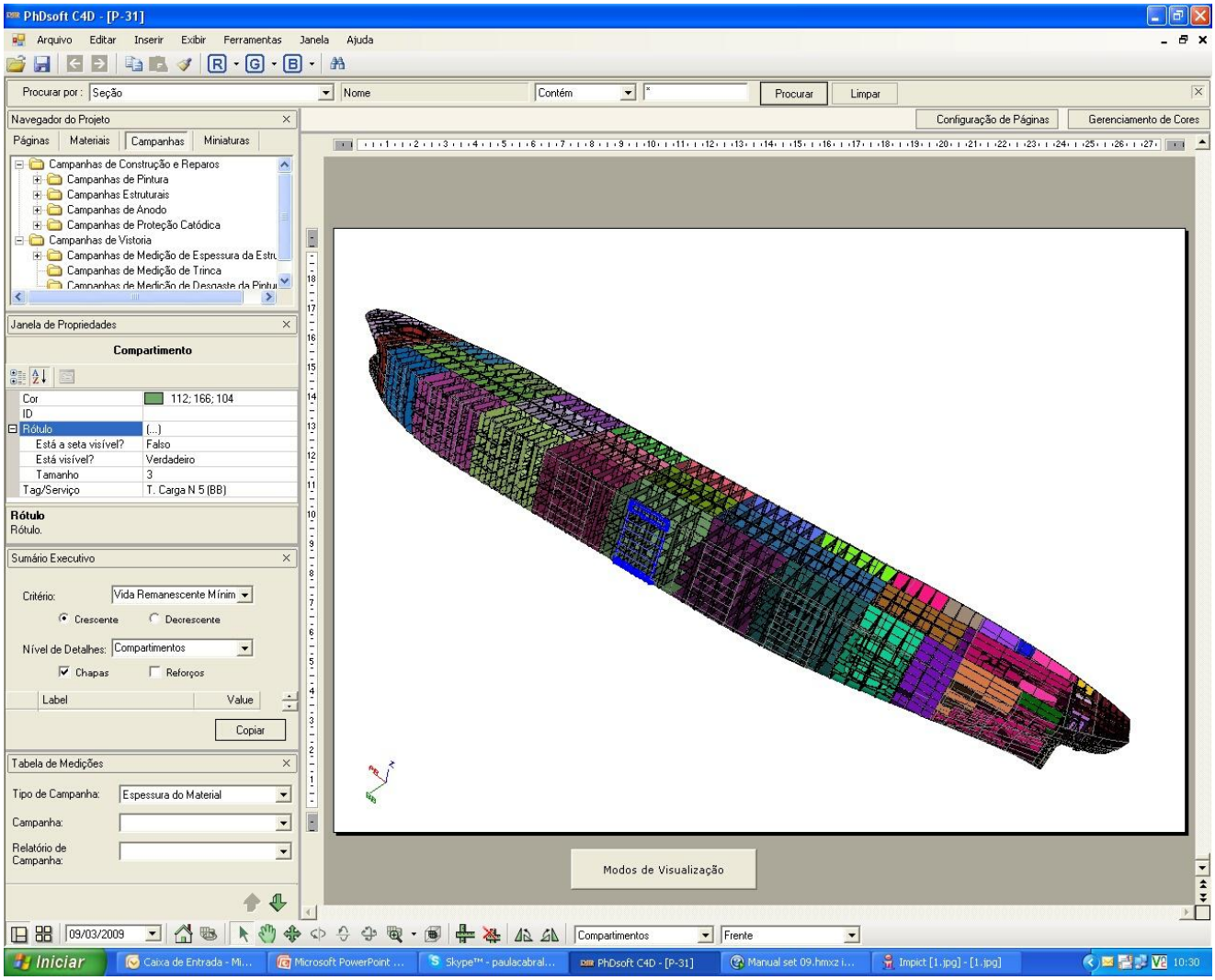


Figura 1 – O modelo da plataforma e seus compartimentos

(em diversas cores para distinção das regiões entre tanques)

A estrutura interna de um tanque de armazenamento é bastante complexa conforme se pode observar na figura 2 abaixo:

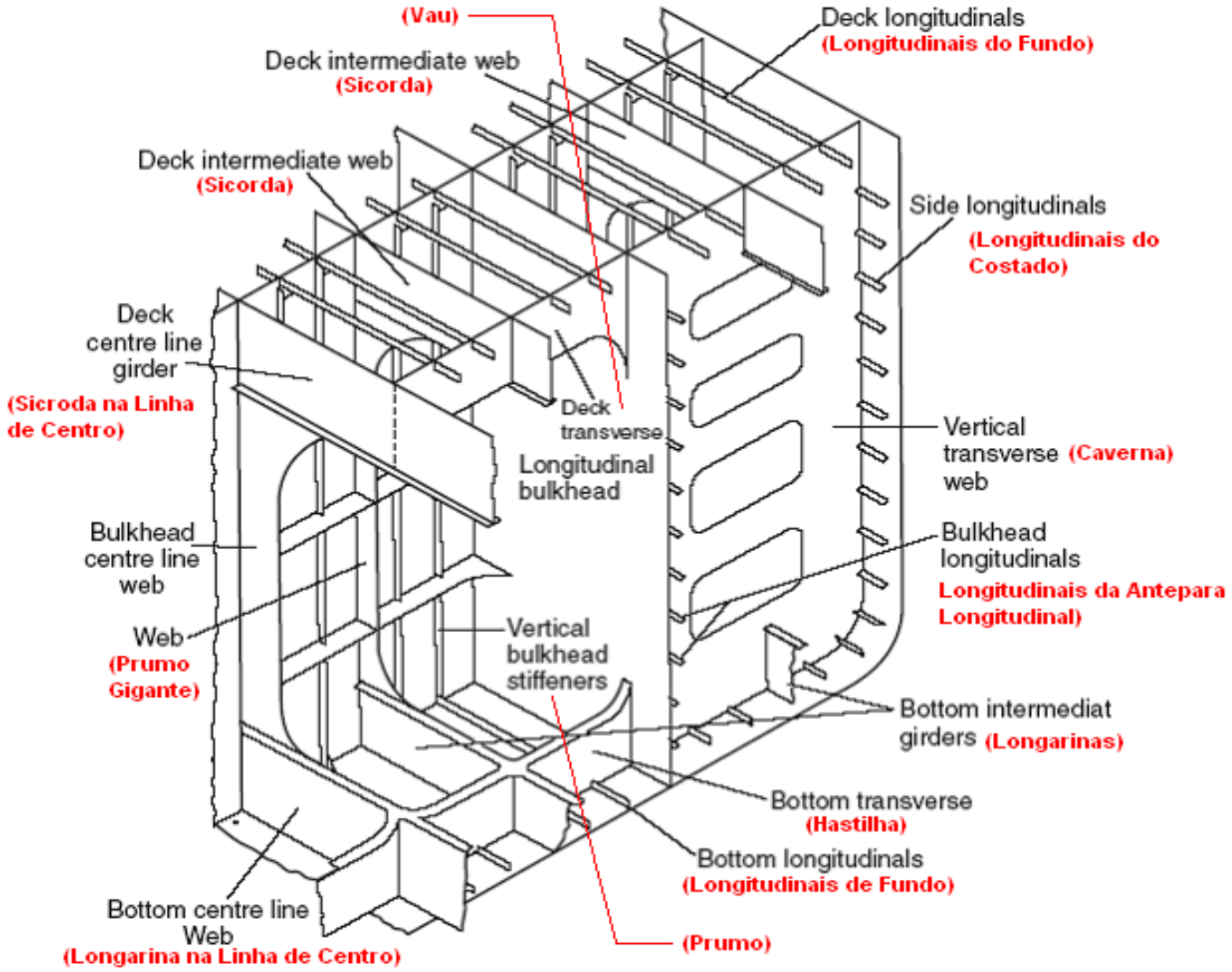


Figura 2 – Compartimento interno de um tanque

O modelo pode ser rotacionado e aproximado de forma a ter uma melhor visualização do compartimento selecionado, conforme figura 3 a seguir:

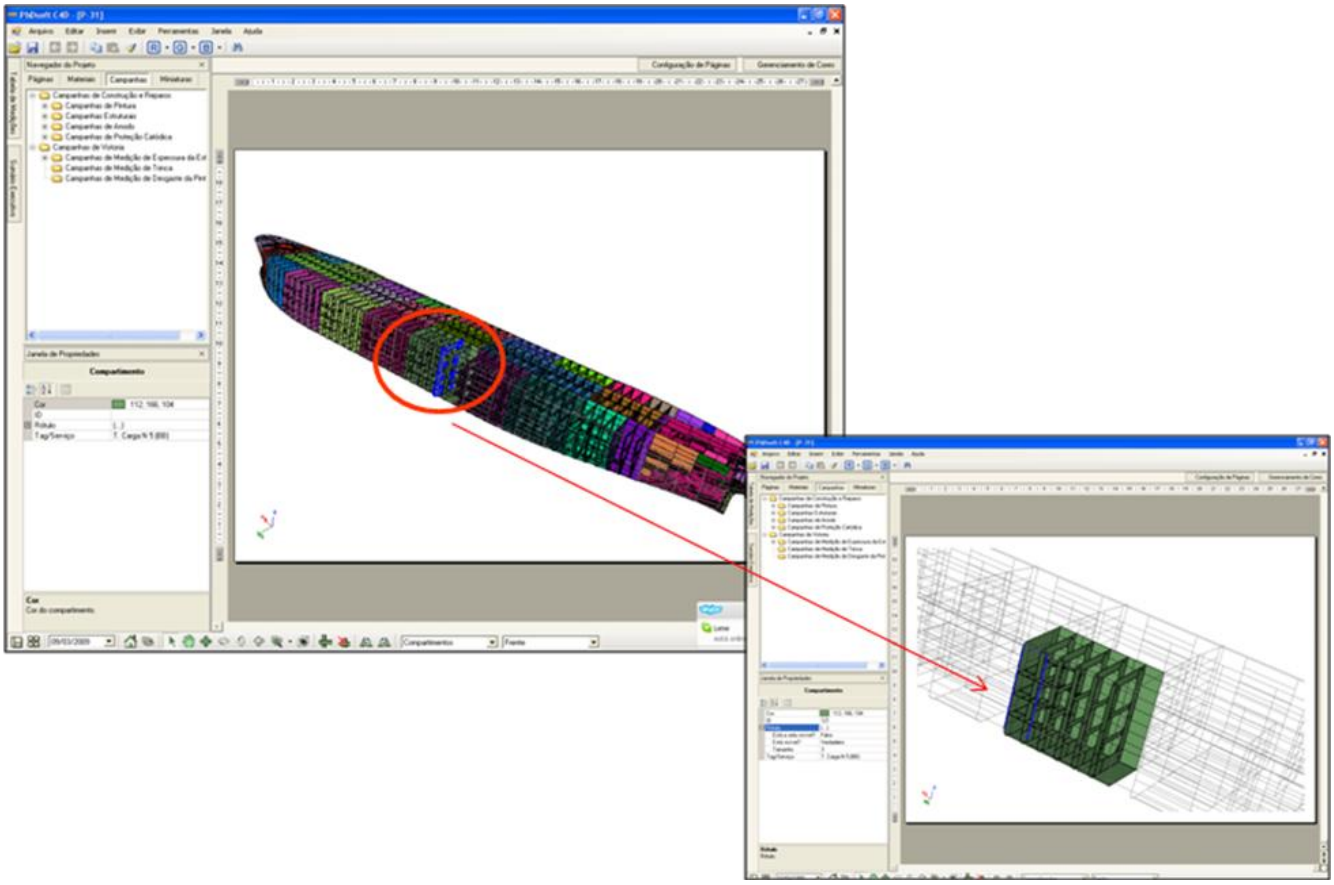


Figura 3 – Escolha do tanque (compartimento) a ser estudado

Com o compartimento selecionado, inicie a atividade de proteção catódica abrindo uma nova "Campanha de Proteção Catódica". As informações sobre o compartimento selecionado estão disponíveis na "Janela de Propriedades". A região de proteção catódica pode ser criada gerando-se um plano auxiliar para delimitar a região de proteção catódica. Para posicionar com exatidão o plano auxiliar, insira as coordenadas na "Janela de Propriedades", após clicar em cima do elemento. Também pode-se mudar a cor do plano auxiliar na mesma janela. A "Região de Proteção Catódica" é inserida no local determinado pelo usuário e as informações disponibilizadas na "Janela de Propriedades". Ao mesmo tempo, uma "Nova Campanha de Proteção Catódica" é aberta no programa. A seguir é apresentada a figura 4 com a tela que indica a definição da área de proteção catódica e a criação da campanha de proteção catódica.

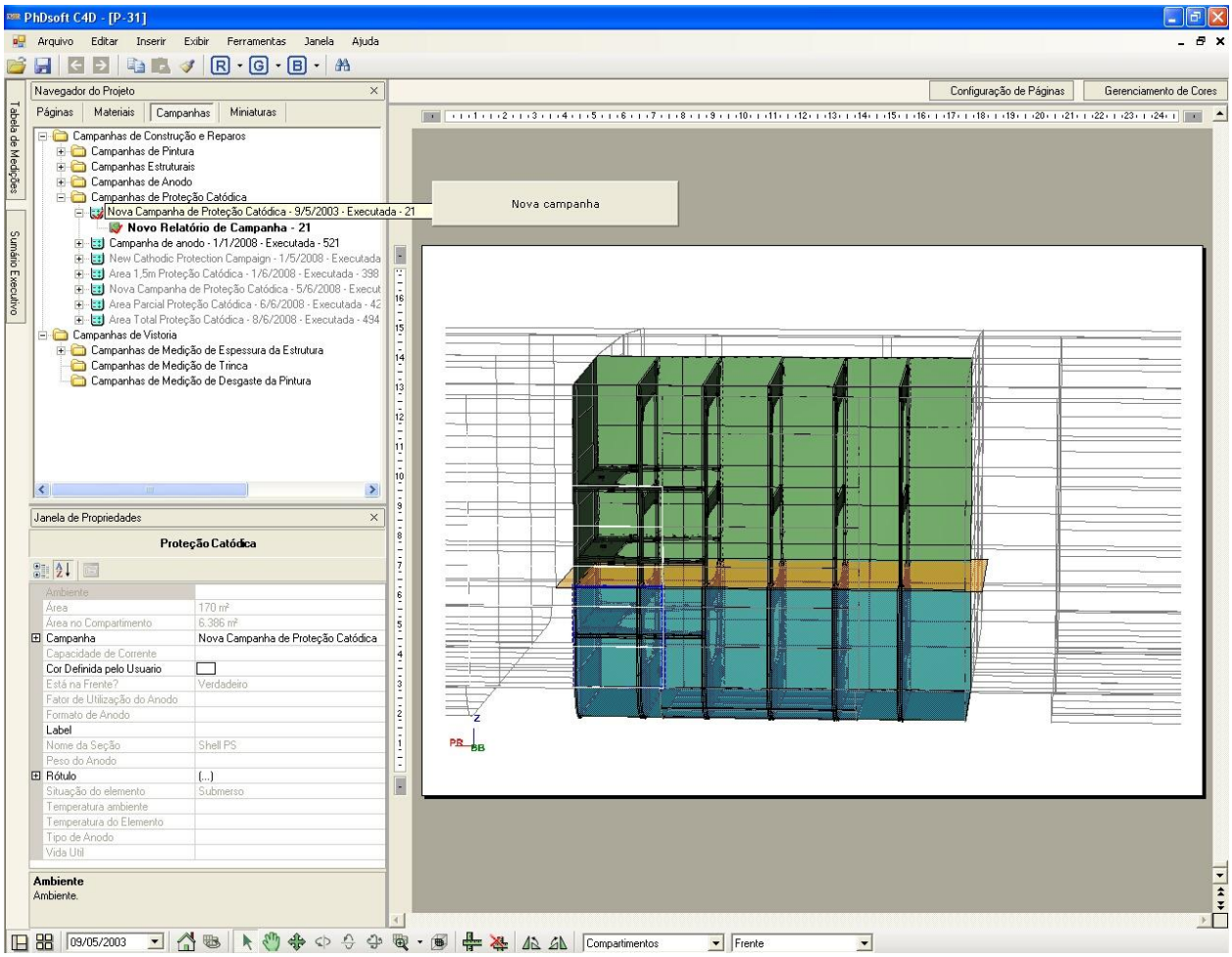


Figura 4 – Delimitação da área a ser protegida (na cor azul abaixo) e criação da nova campanha de proteção catódica para início do dimensionamento dos anodos

Após a criação de uma "Região de Proteção Catódica", o programa disponibiliza o assistente para dimensionamento de nodos, que permite calcular automaticamente o número exato de anodos que devem ser inseridos em determinada região. Para abrir, clique em "Ferramentas/Assistentes/Dimensionamento de Anodos", conforme figura 5 a seguir.

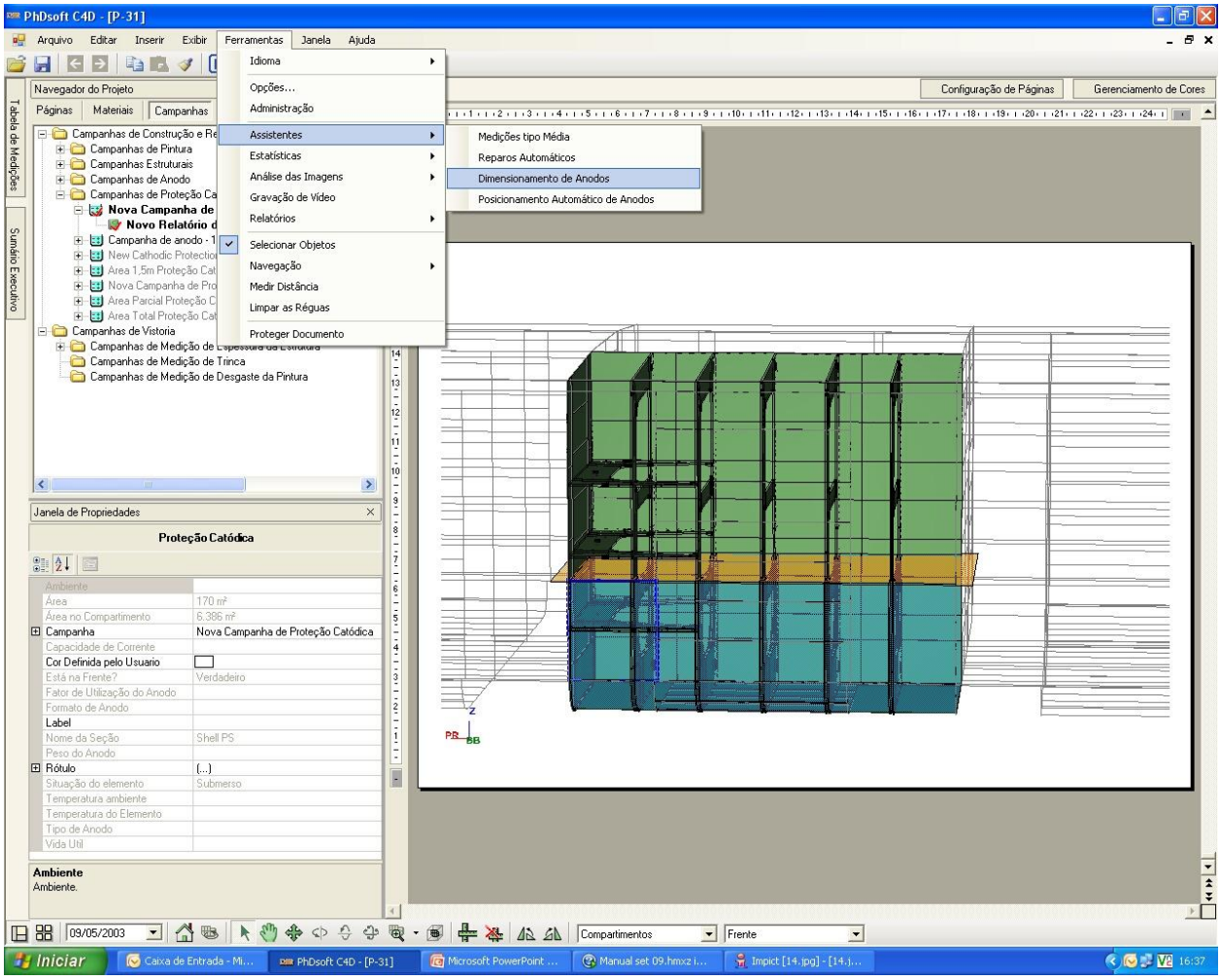


Figura 5 – Acesso ao assistente de dimensionamento de anodos

Quando o Assistente de Dimensionamento de Anodos é aberto, apenas a área a ser calculada fica destacada, conforme figura 6, e o modelo é rotacionado automaticamente. Pode-se também rotacioná-lo se preferir outra visualização.

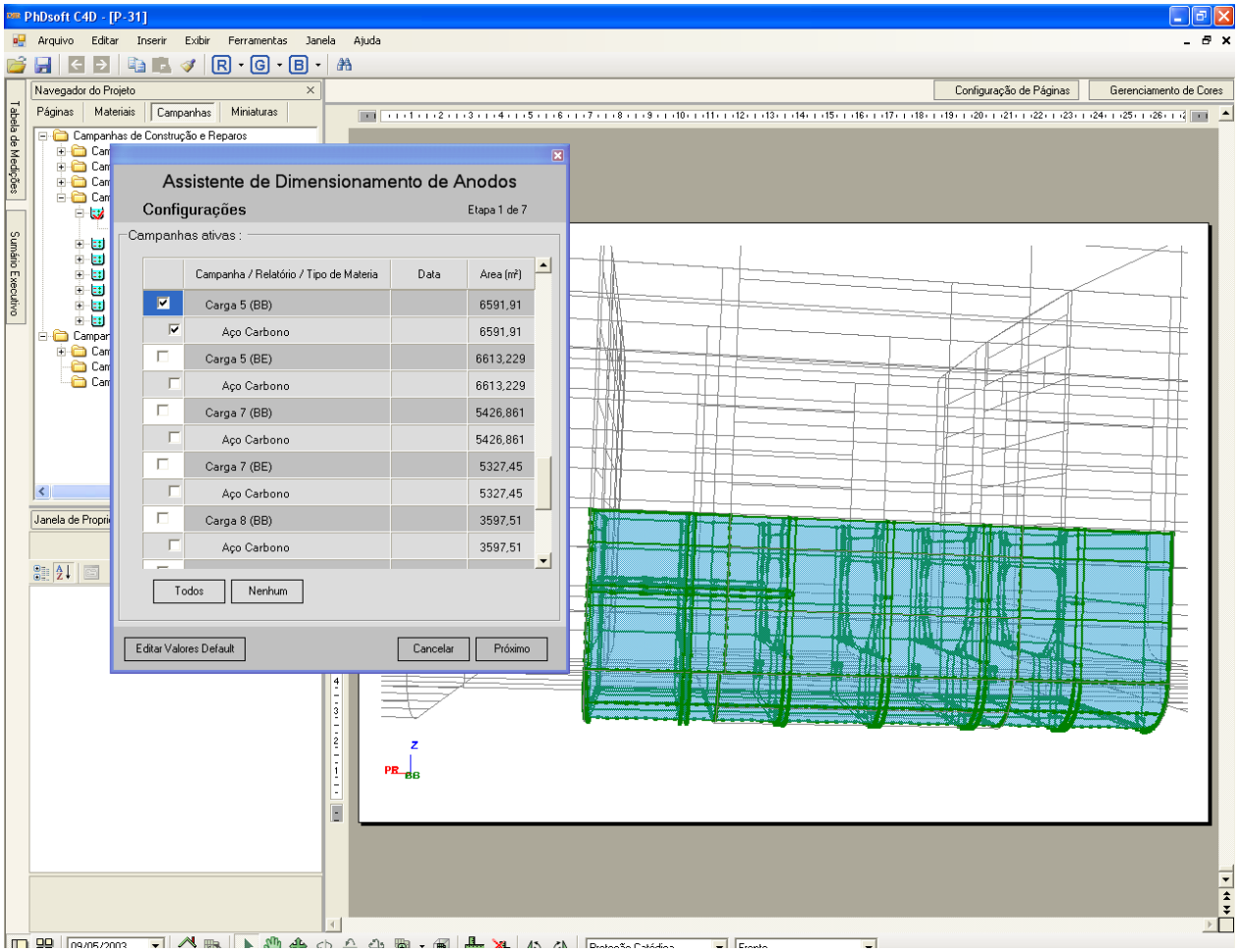


Figura 6 – Área de proteção catódica em destaque e janela do assistente de dimensionamento de anodos aberta

O Assistente de Dimensionamento de Anodos é composto por sete etapas. Na primeira, são selecionadas as Campanhas de Proteção Catódica com as quais se deseja trabalhar, de acordo com as regiões a serem protegidas, conforme figura 7 a seguir.

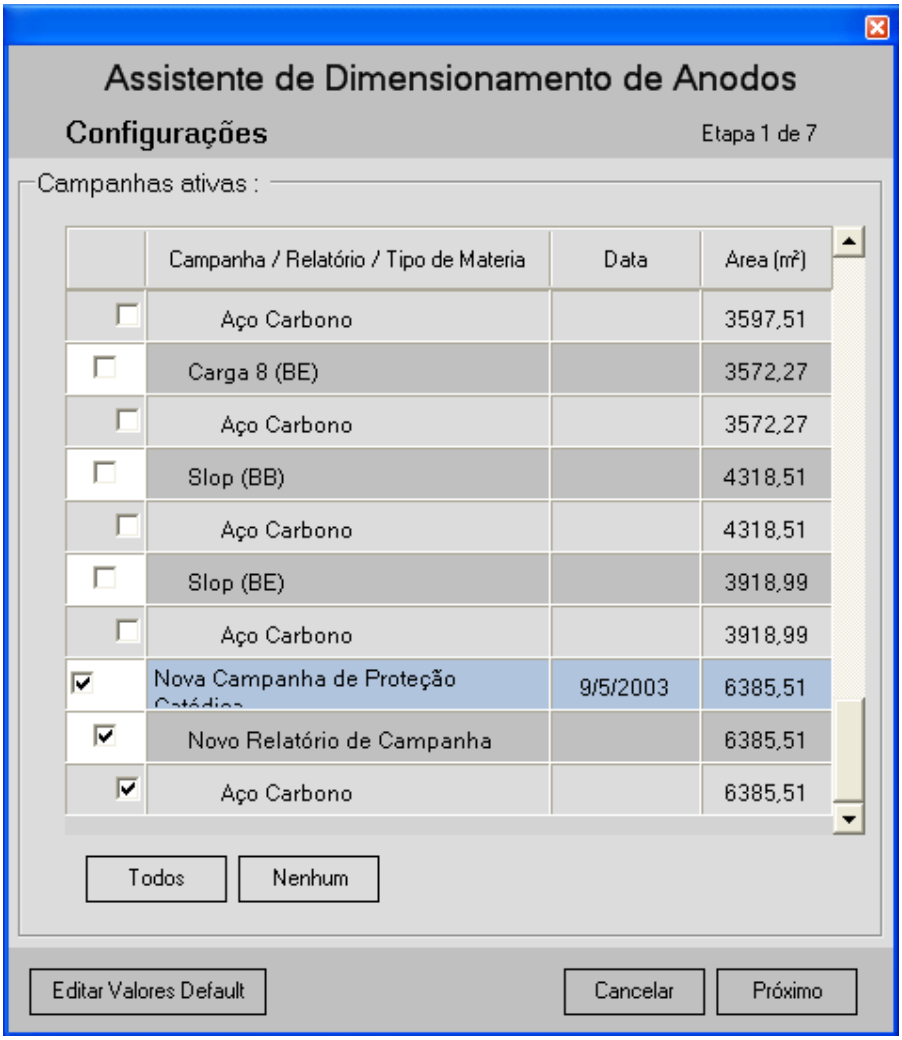


Figura 7 – Etapa 1 de 7 do dimensionamento, indicando a nova campanha gerada, a data da criação e a área interna total de proteção catódica do tanque já calculada pelo programa

Na segunda etapa, são especificados o tempo de vida útil esperado para o sistema e as propriedades do revestimento utilizado no tanque, conforme figura 8.

Nota: No caso do estudo de tanques de carga, onde o volume atual ocupado pela água produzida é superior ao do projeto original quando da conversão da unidade, deve-se atentar que existirão duas regiões de proteção catódica a serem calculadas, uma com revestimento e outra sem revestimento.

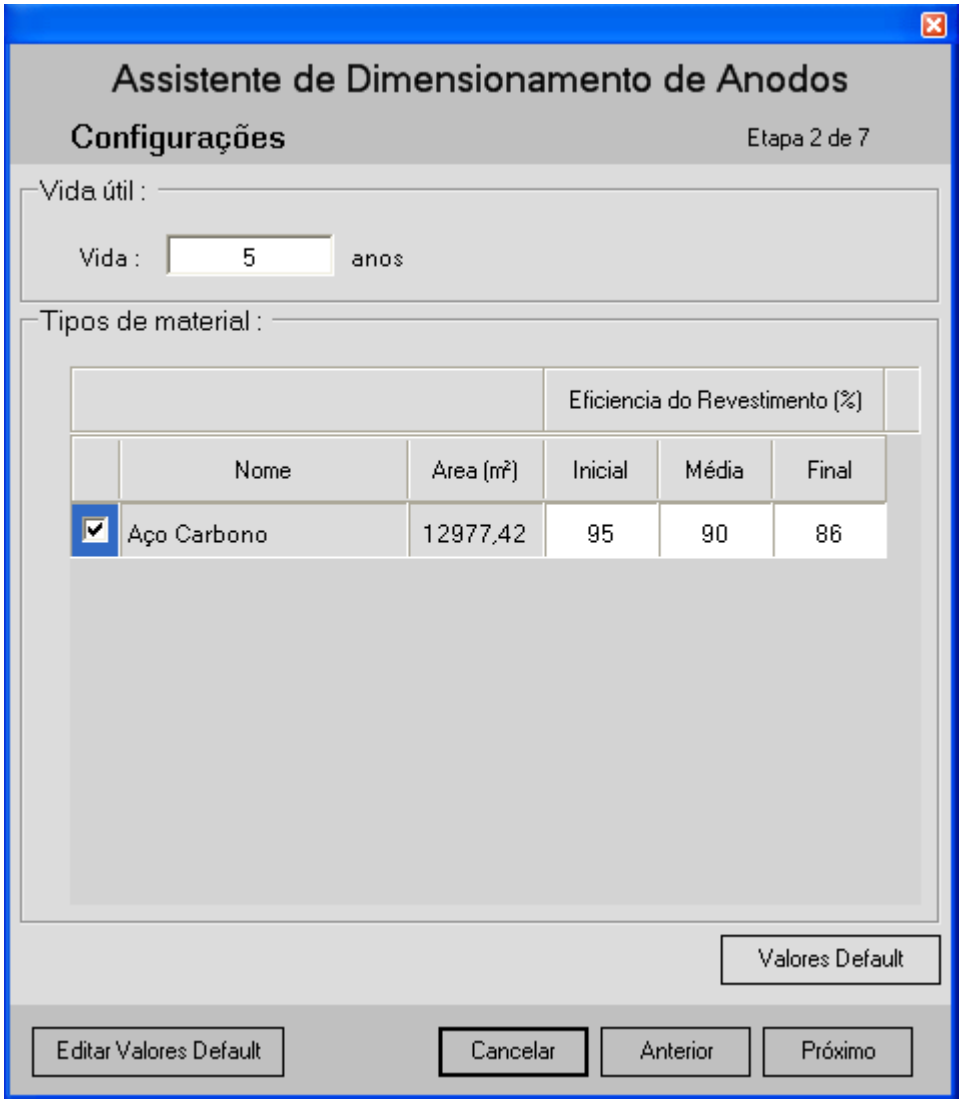


Figura 8 – Etapa 2 de 7 do dimensionamento, onde se especifica a vida esperada para o sistema e as eficiências de revestimento (inicial, média e final)

Na terceira etapa, são apresentadas a "Situação do Elemento" (estrutura) se submerso ou enterrado, as propriedades ambientais como a temperatura do eletrólito e profundidade e as propriedades do eletrólito (água do mar ou água produzida), conforme figura 9.

Nota: Obviamente que no caso de dimensionamento para tanques o elemento (estrutura) sempre estará submerso e a temperatura a ser usada será o "Padrão de Referência". No caso específico de tanques de carga e tanques de drenagem (*slop*) ainda deverá ser feita a correção de temperatura uma vez que o eletrólito estará em temperatura acima da temperatura ambiente ("Padrão de Referência") que se situa normalmente em torno de 20°C a 25°C.

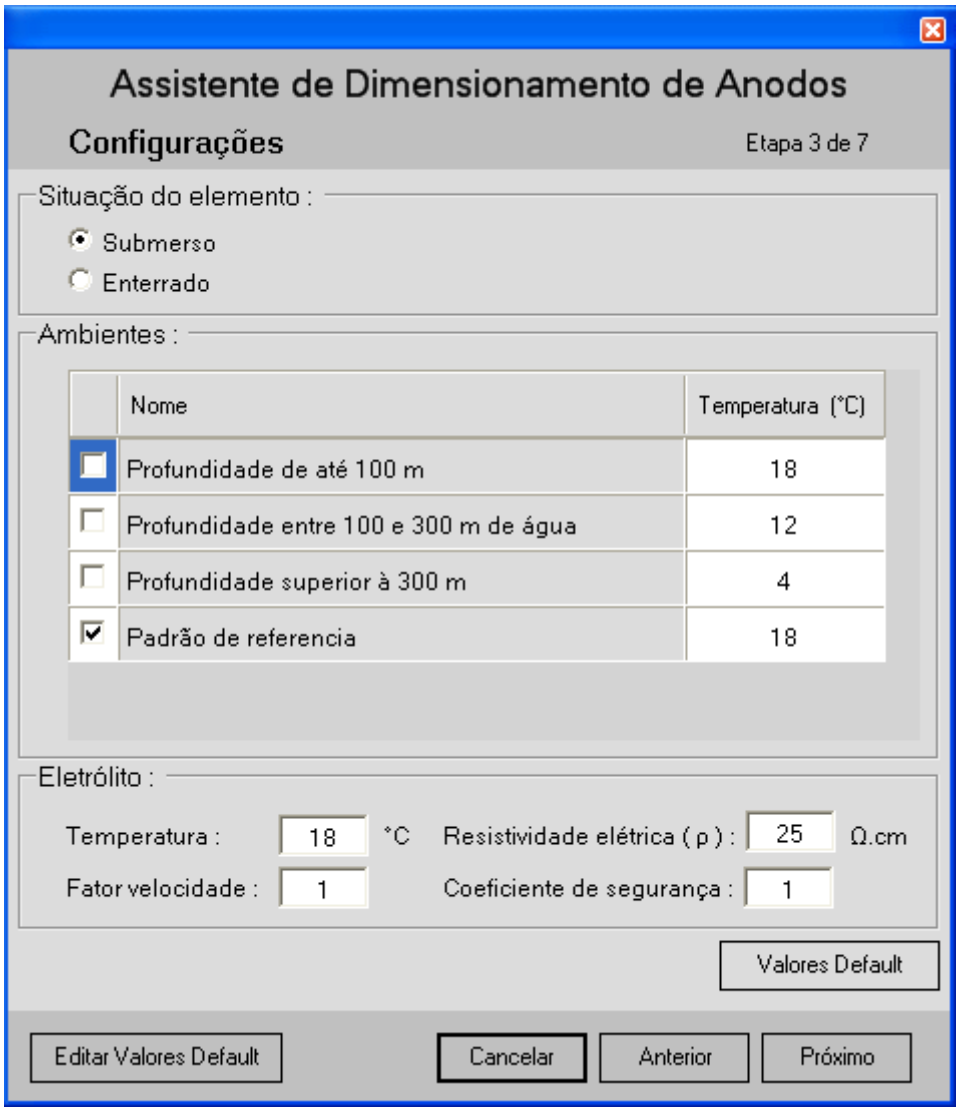


Figura 9 – Etapa 3 de 7 do dimensionamento, com informações sobre as condições do ambiente onde a estrutura se situa e as características do eletrólito

Na quarta etapa, são informados o tipo e formato dos anodos e suas propriedades conforme figura 10.

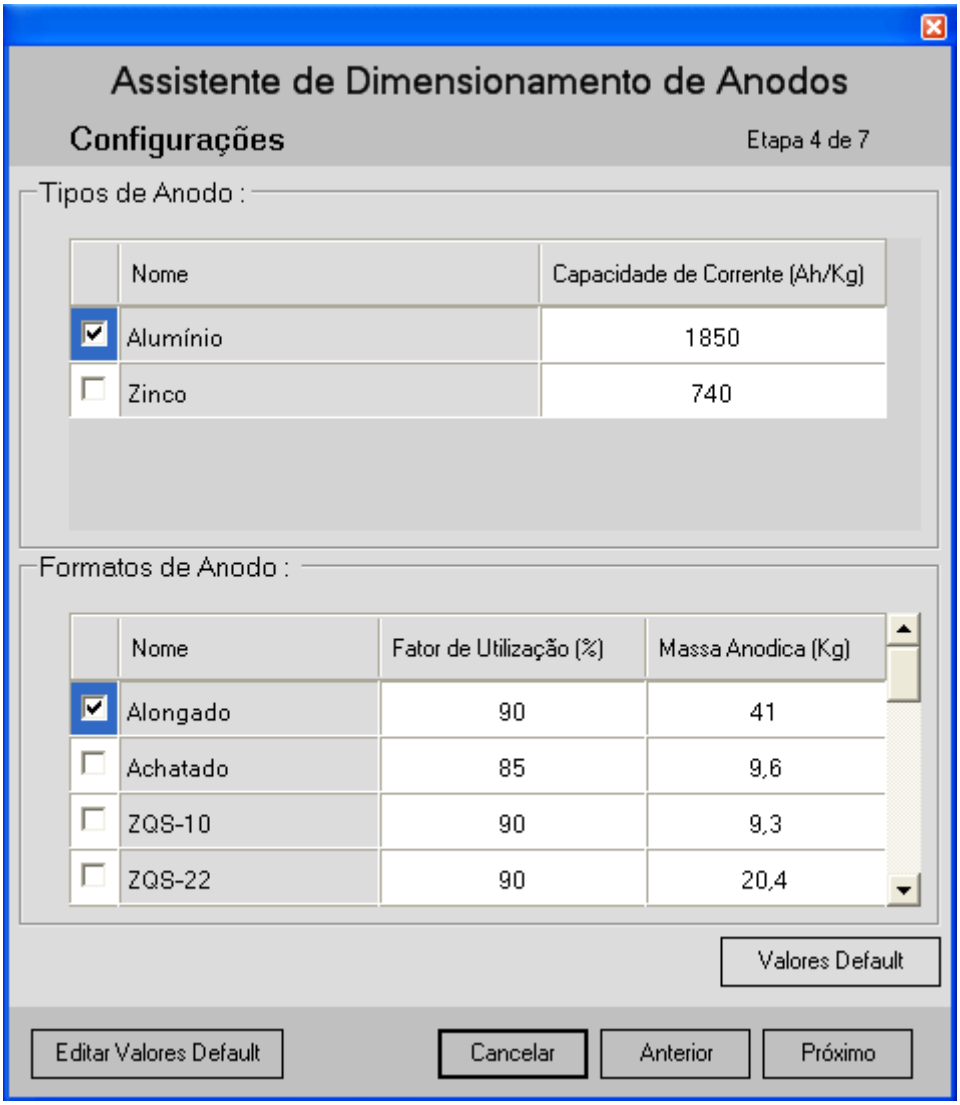


Figura 10 – Etapa 4 de 7 do dimensionamento, com os dados do tipo de anodo a ser utilizado

Na quinta etapa, são calculadas pelo programa as densidades de corrente inicial, média e final, em função dos parâmetros anteriormente especificados pelo projetista, inclusive o incremento de densidade a ser introiduzido nos cálculos em função de eletrólitos mais aquecidos (caso dos tanques de carga e drenagem). A tela do programa referente à quinta etapa está apresentada na figura 11 a seguir.

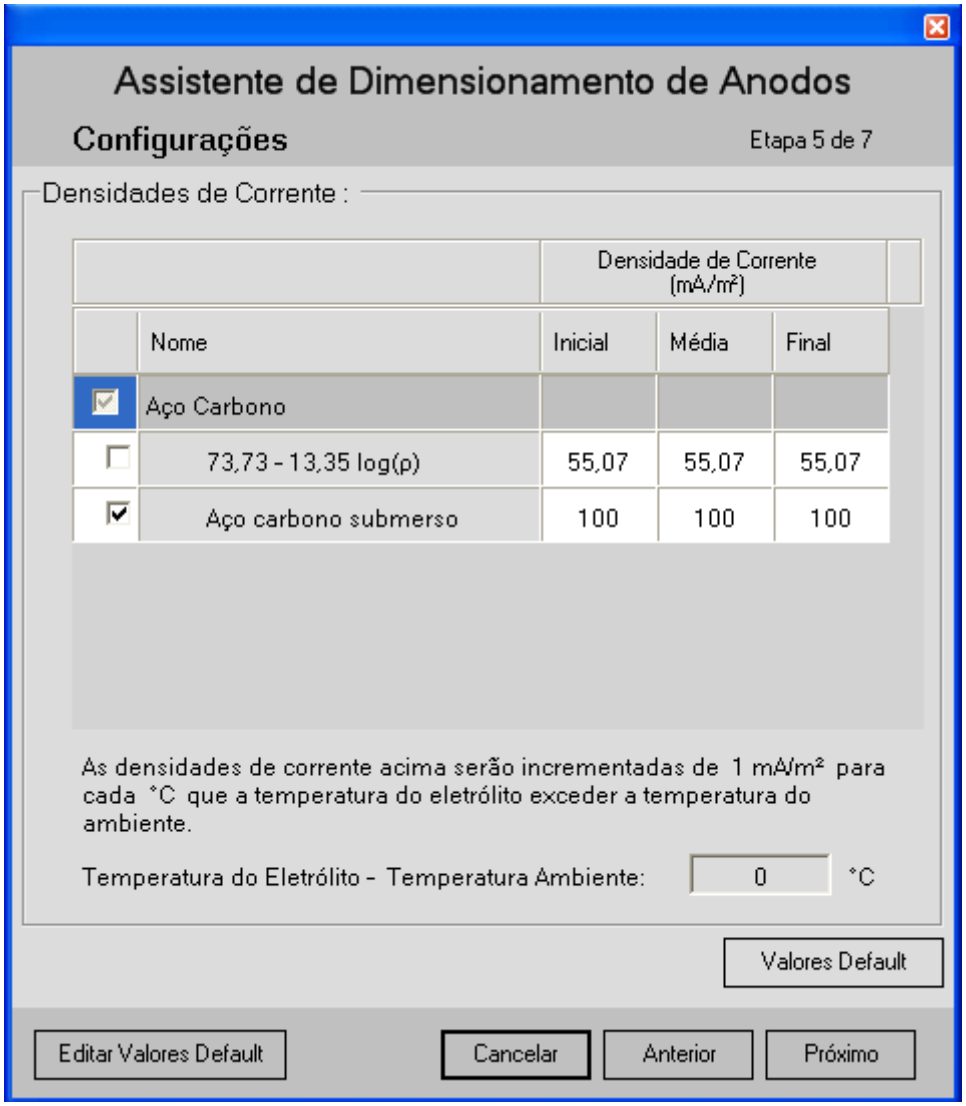


Figura 11 – Etapa 5 de 7 do dimensionamento, onde são apresentadas as densidades de corrente inicial, média e final

Na sexta etapa do dimensionamento, as propriedades elétricas do circuito eletroquímico, onde a mais relevante neste caso é a resistência elétrica de contato na interface anodo/eletrólito. São apresentadas duas fórmulas onde a superior é utilizada quando os anodos são longos e com seções do tipo quadrada ou trapezoidal (mais utilizados para tanques) e a segunda formula, na parte inferior, é utilizada quando os anodos são achatados. A figura 12 a seguir apresenta esta tela.

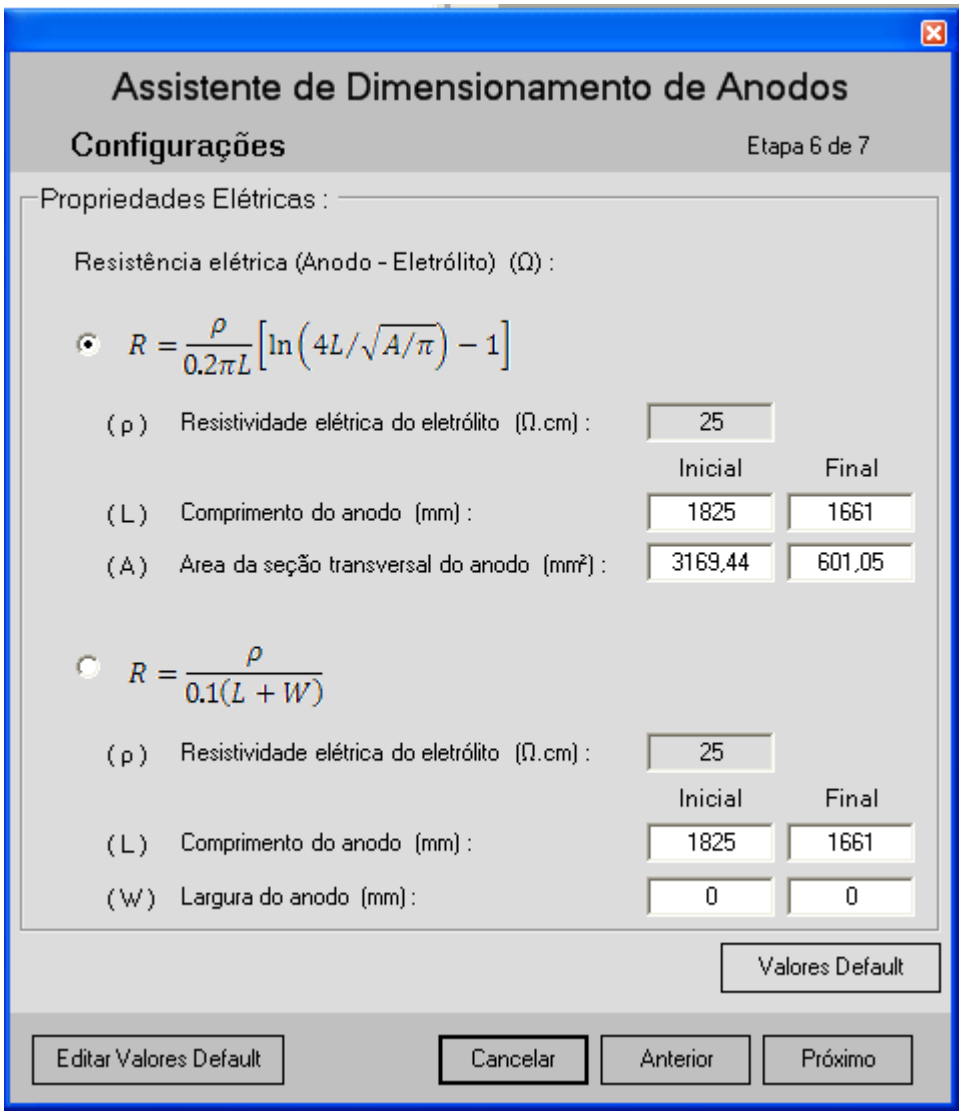


Figura 12 – Etapa 6 de 7 do dimensionamento, onde é calculada a resistência de contato anodo/eletrólito, dadas as dimensões do anodo e a resistividade elétrica do eletrólito

A sétima tela do Assistente de Dimensionamento de anodos apresenta os resultados do dimensionamento utilizando o Critério da Massa, conforme tabela 1, referente à manutenção da proteção catódica após polarização e durante a operação do sistema; e utilizando o Critério da Corrente, conforme tabela 2, referente às corrente inicial (necessária à polarização da estrutura) e final (necessária ao mantenimento da polarização chegando ao final da vida util do sistema, com os anodos já desgastados).

Tabela 1 – Etapa 7 de 7 do dimensionamento, resultados finais considerando o Critério da Massa

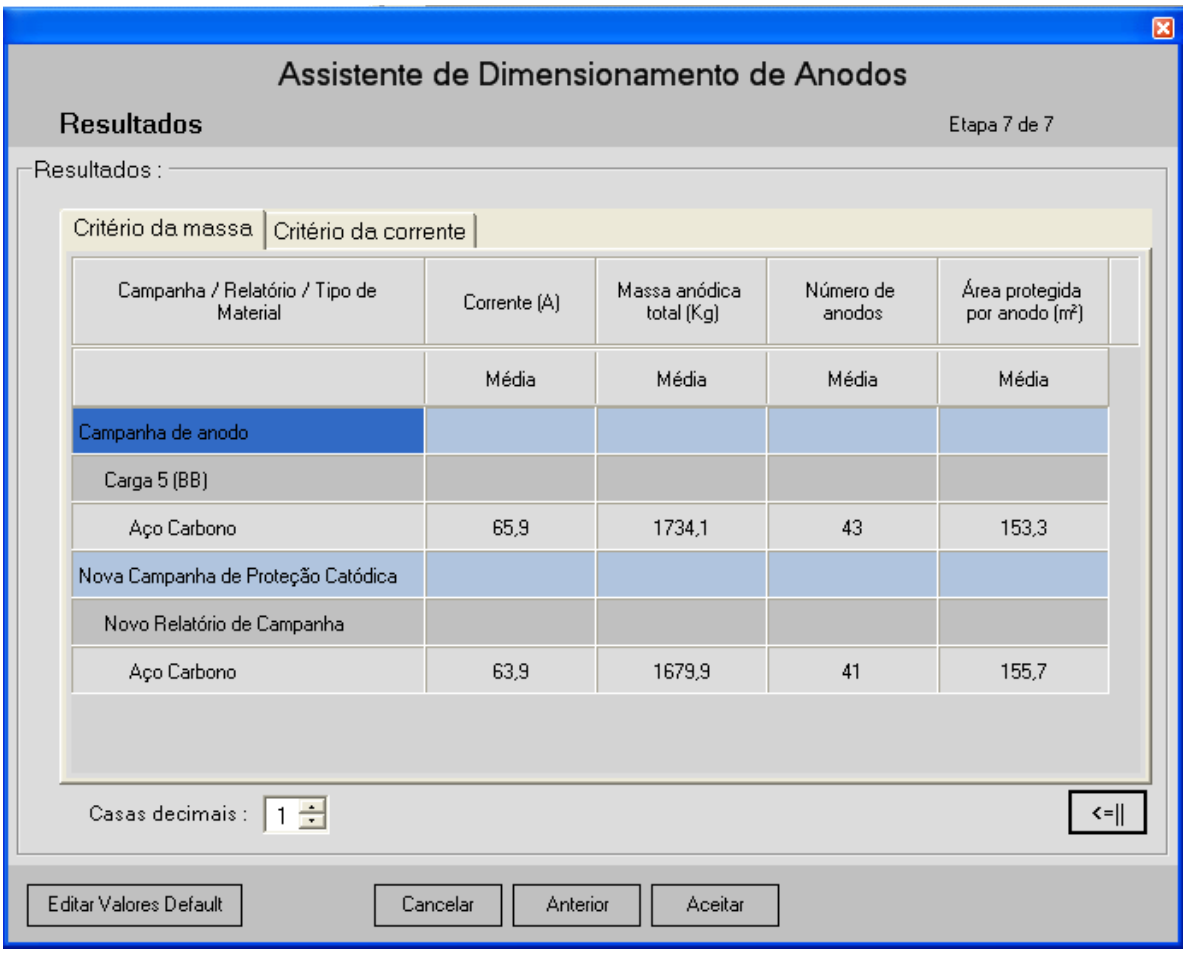
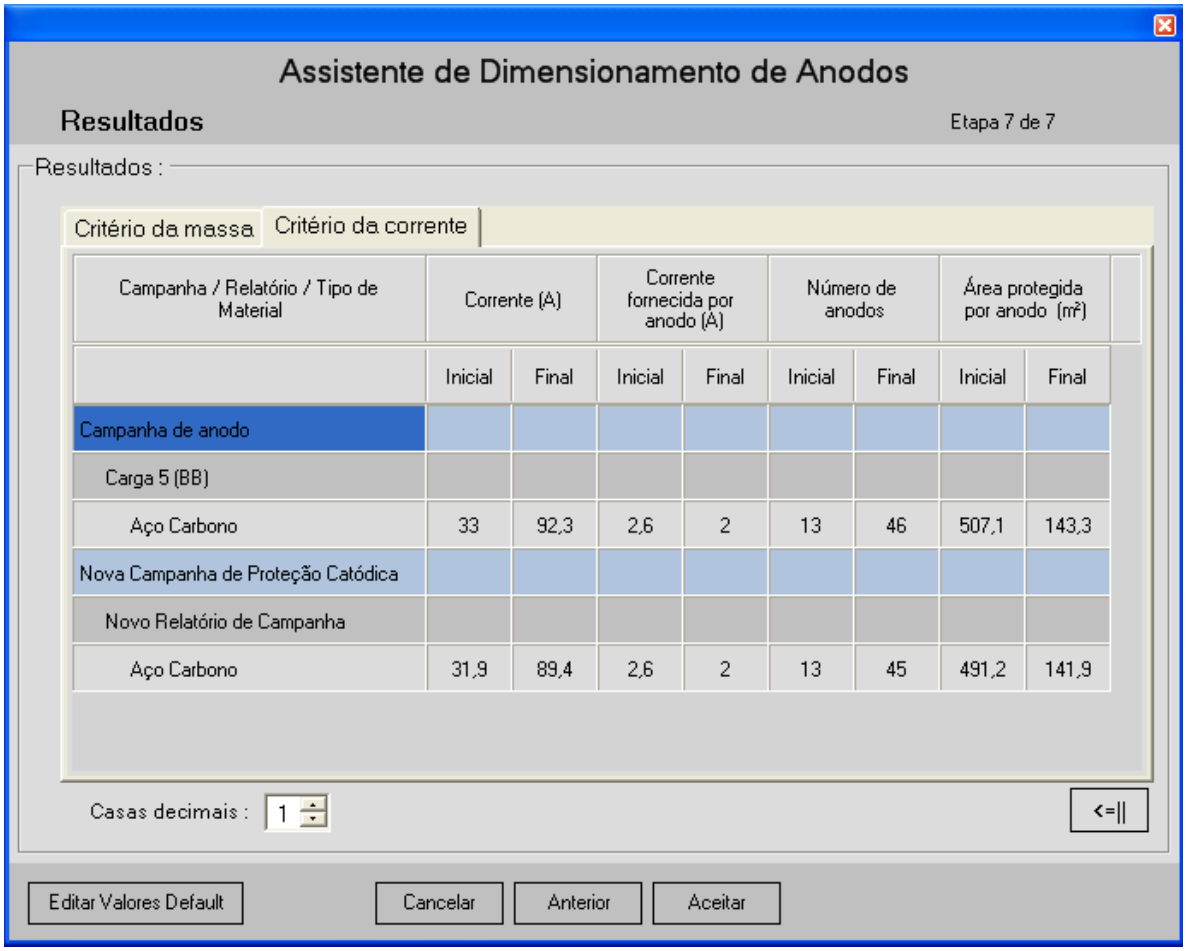
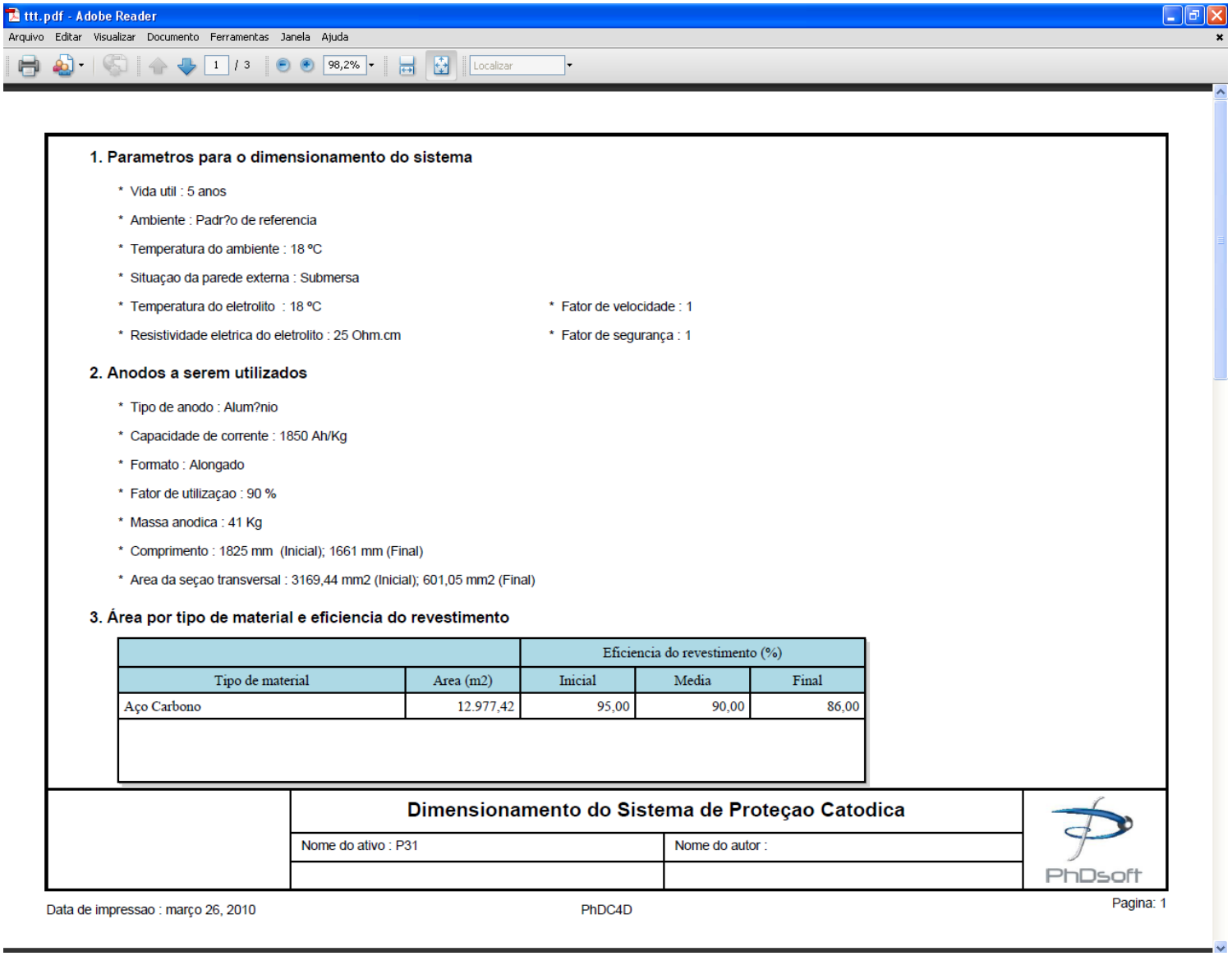


Tabela 2 – Etapa 7 de 7 do dimensionamento, resultados finais considerando o Critério da Corrente



Após clicar “Aceitar”, o programa gera automaticamente um relatório em arquivo PDF com o histórico de cálculo do Assistente de Dimensionamento de Anodos, com todos os principais dados fornecidos ao longo das etapas do assistente, conforme figuras 13, 14 e 15. Estes relatórios podem ser salvos em qualquer lugar determinado pelo usuário.



1. Parametros para o dimensionamento do sistema

* Vida util : 5 anos
* Ambiente : Padr?o de referencia
* Temperatura do ambiente : 18 ºC
* Situaçao da parede externa : Submersa
* Temperatura do eletrolito : 18 ºC
* Fator de velocidade : 1
* Resistividade eletrica do eletrolito : 25 Ohm.cm
* Fator de segurança : 1

2. Anodos a serem utilizados

* Tipo de anodo : Alum?nio
* Capacidade de corrente : 1850 Ah/Kg
* Formato : Alongado
* Fator de utilizaçao : 90 %
* Massa anodica : 41 Kg
* Comprimento : 1825 mm (Inicial); 1661 mm (Final)
* Area da seçao transversal : 3169,44 mm2 (Inicial); 601,05 mm2 (Final)

3. Área por tipo de material e eficiencia do revestimento

		Eficiencia do revestimento (%)		
Tipo de material	Area (m2)	Inicial	Media	Final
Aço Carbono	12.977,42	95,00	90,00	86,00

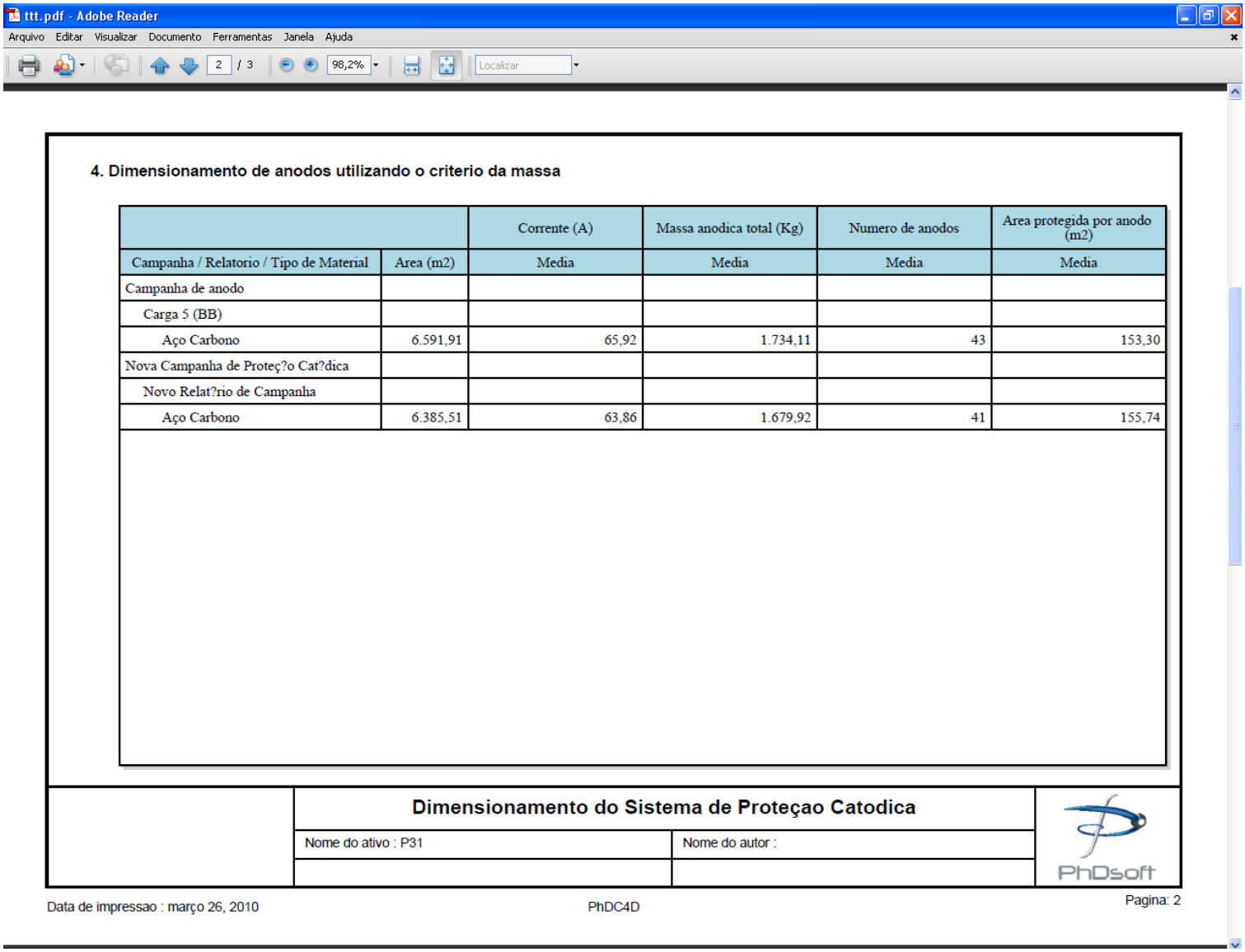
Dimensionamento do Sistema de Proteçao Catodica

Nome do ativo : P31	Nome do autor :

PhDsoft

Data de impressao : março 26, 2010 PhDC4D Pagina: 1

Figura 13 – Relatório em PDF gerado pelo programa com os dados do elemento estrutural (tanque), do eletrólito e dos anodos



4. Dimensionamento de anodos utilizando o criterio da massa

		Corrente (A)	Massa anodica total (Kg)	Numero de anodos	Area protegida por anodo (m2)
Campanha / Relatorio / Tipo de Material	Area (m2)	Media	Media	Media	Media
Campanha de anodo					
Carga 5 (BB)					
Aço Carbono	6.591,91	65,92	1.734,11	43	153,30
Nova Campanha de Proteç?o Cat?dica					
Novo Relat?rio de Campanha					
Aço Carbono	6.385,51	63,86	1.679,92	41	155,74

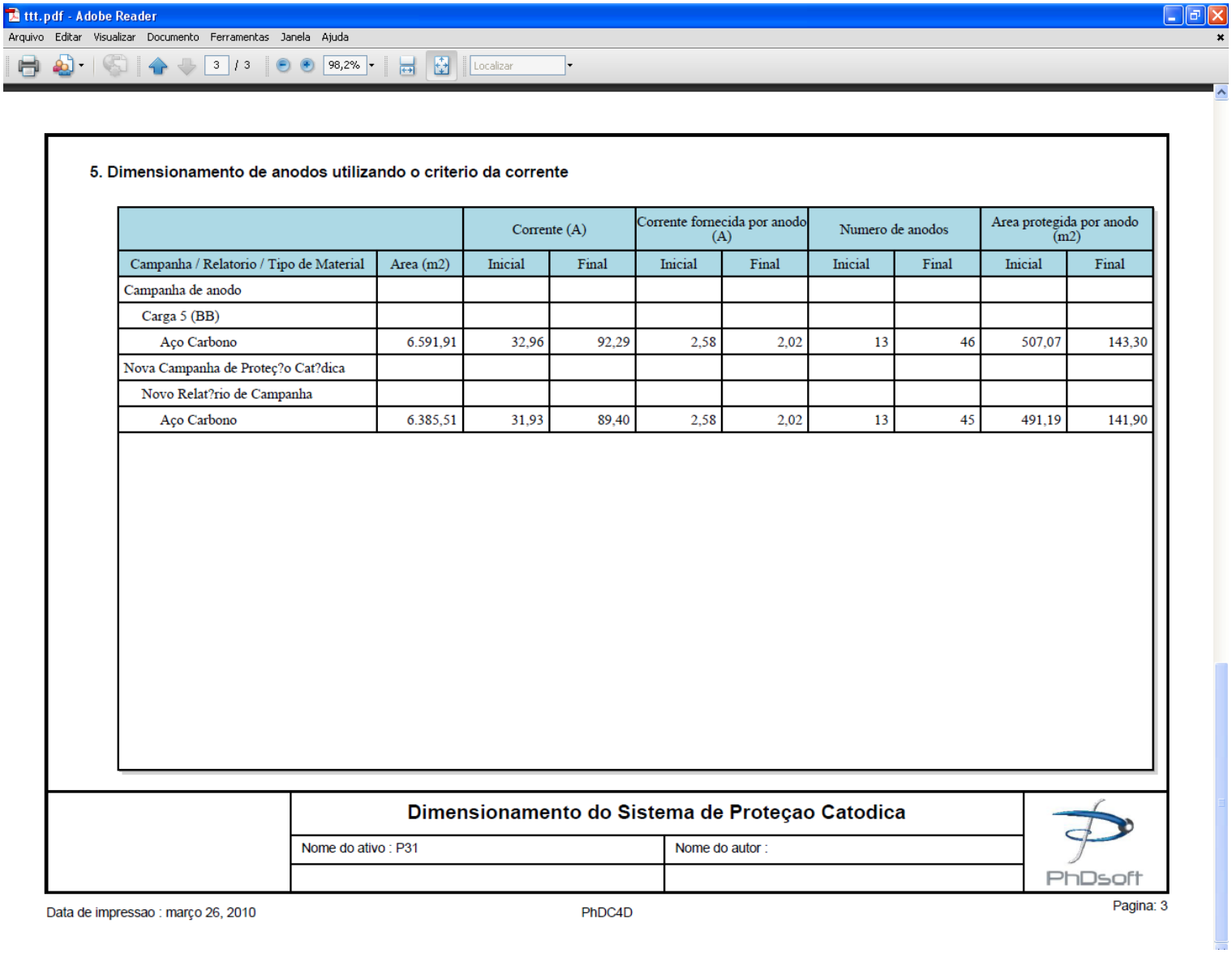
Dimensionamento do Sistema de Proteçao Catodica

Nome do ativo : P31	Nome do autor :

PhDsoft

Data de impressao : março 26, 2010 PhDC4D Pagina: 2

Figura 14 – Relatório em PDF gerado pelo programa com o dimensionamento pelo Critério da Massa



5. Dimensionamento de anodos utilizando o criterio da corrente

		Corrente (A)		Corrente fornecida por anodo (A)		Numero de anodos		Area protegida por anodo (m2)	
Campanha / Relatorio / Tipo de Material	Area (m2)	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Campanha de anodo									
Carga 5 (BB)									
Aço Carbono	6.591,91	32,96	92,29	2,58	2,02	13	46	507,07	143,30
Nova Campanha de Proteç?o Cat?dica									
Novo Relat?rio de Campanha									
Aço Carbono	6.385,51	31,93	89,40	2,58	2,02	13	45	491,19	141,90

Dimensionamento do Sistema de Proteçao Catodica

Nome do ativo : P31	Nome do autor :

PhDsoft

Data de impressao : março 26, 2010 PhDC4D Pagina: 3

Figura 15 – Relatório em PDF gerado pelo programa com o dimensionamento pelo Critério da Corrente

Após dimensionar a quantidade de anodos necessária para proteger determinada região, o "Assistente de Localização Automática de Anodos" permite determinar a posição exata de cada um. Este assistente é composto de duas etapas: na primeira, são assinaladas as "Campanhas de Proteção Catódica" com as quais se deseja trabalhar, conforme figura 16.

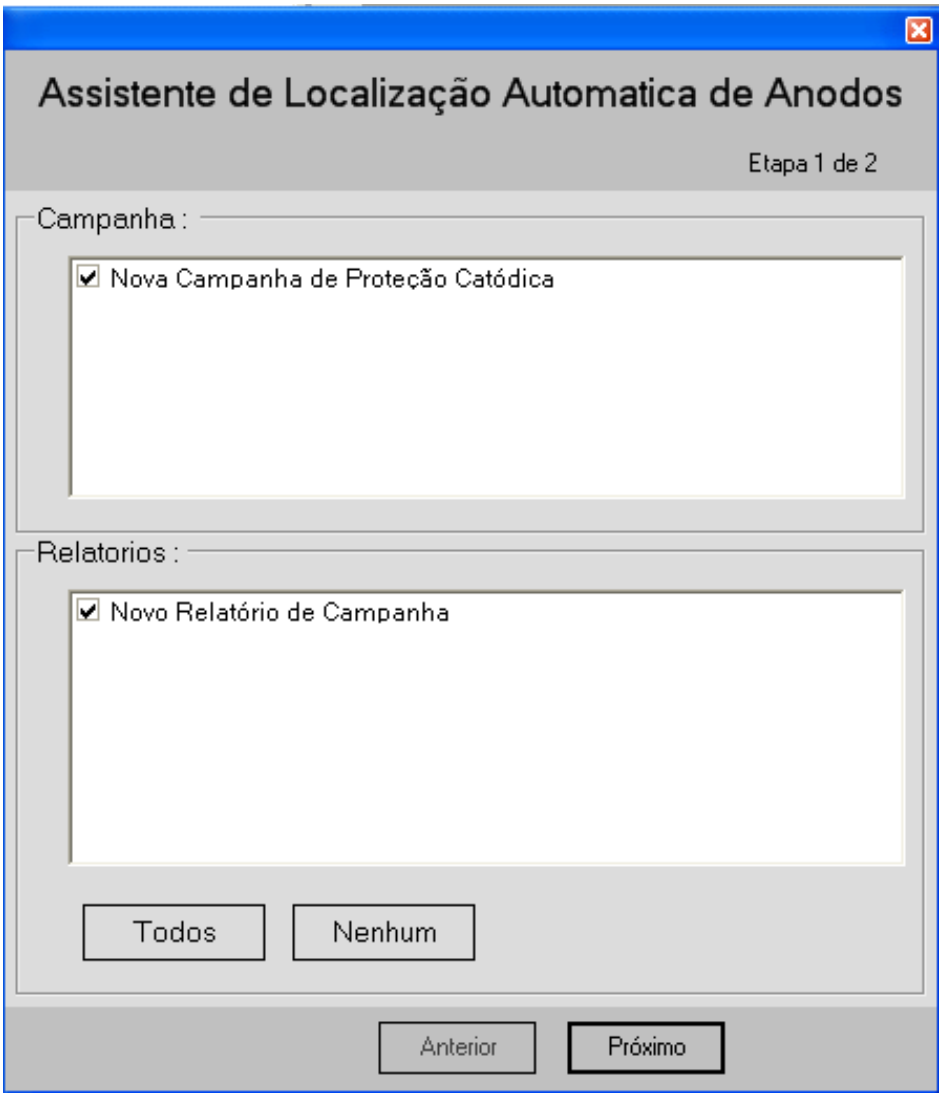


Figura 16 – Etapa 1 de 2 do assistente de localização de anodos, onde se escolha qual campanha de anodos deverá ser alocada no tanque

Na segunda etapa, é escolhido o número de anodos que devem ser inseridos na região de proteção catódica, conforme figura 17. Após clicar no botão “Rodar” o “Assistente de Localização Automática de Anodos” realiza os cálculos necessários para determinar a posição de cada um.

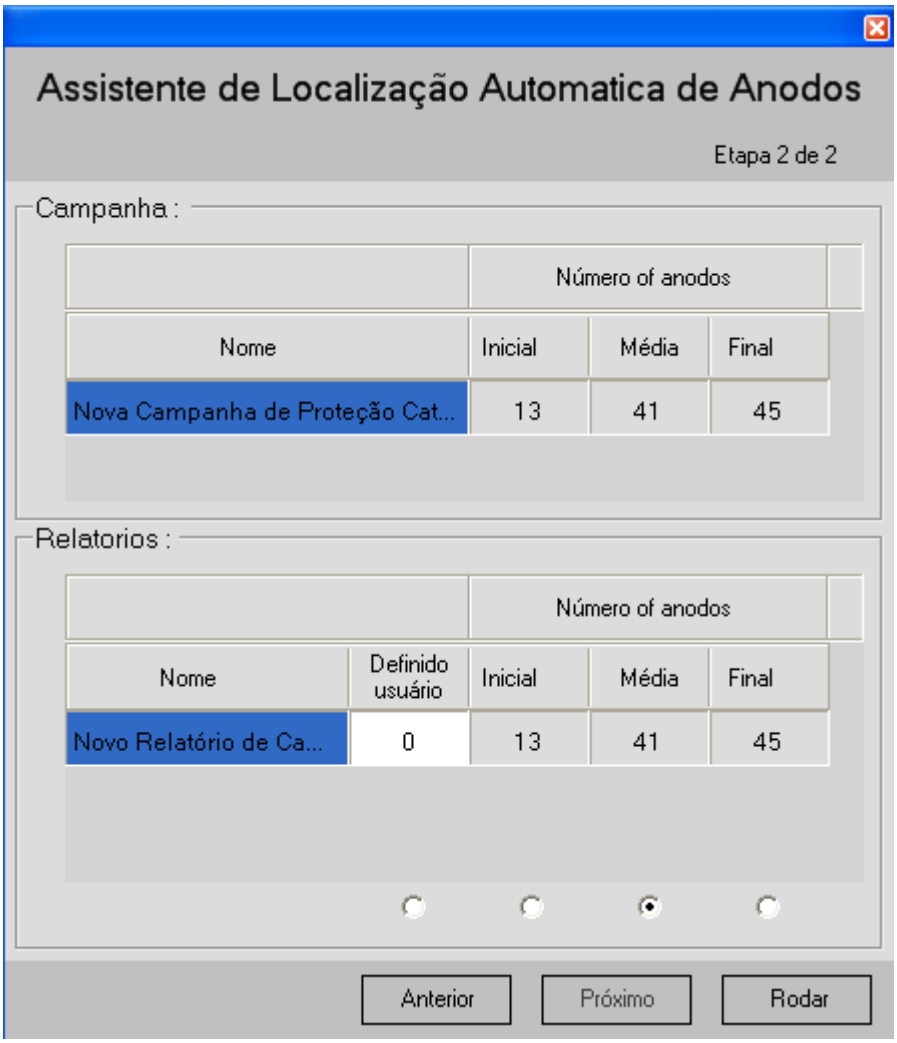


Figura 17 – Etapa 2 de 2 do assistente de localização de anodos, onde se define o número de anodos que serão distribuídos pelo tanque

Após rodar o Assistente, o programa permite visualizar os anodos em diversas áreas, como no costado, após rotacionar o modelo, em seções como cavernas, dentre outras estruturas internas ao tanque, conforme figuras 18 e 19. **Cabe lembrar que os anodos nunca são instalados diretamente nas chapas dos tanques**. Também permite visualizar todas as informações sobre os anodos na "Janela de Propriedades", situada no lado esquerdo da tela do programa, conforme figura 20.

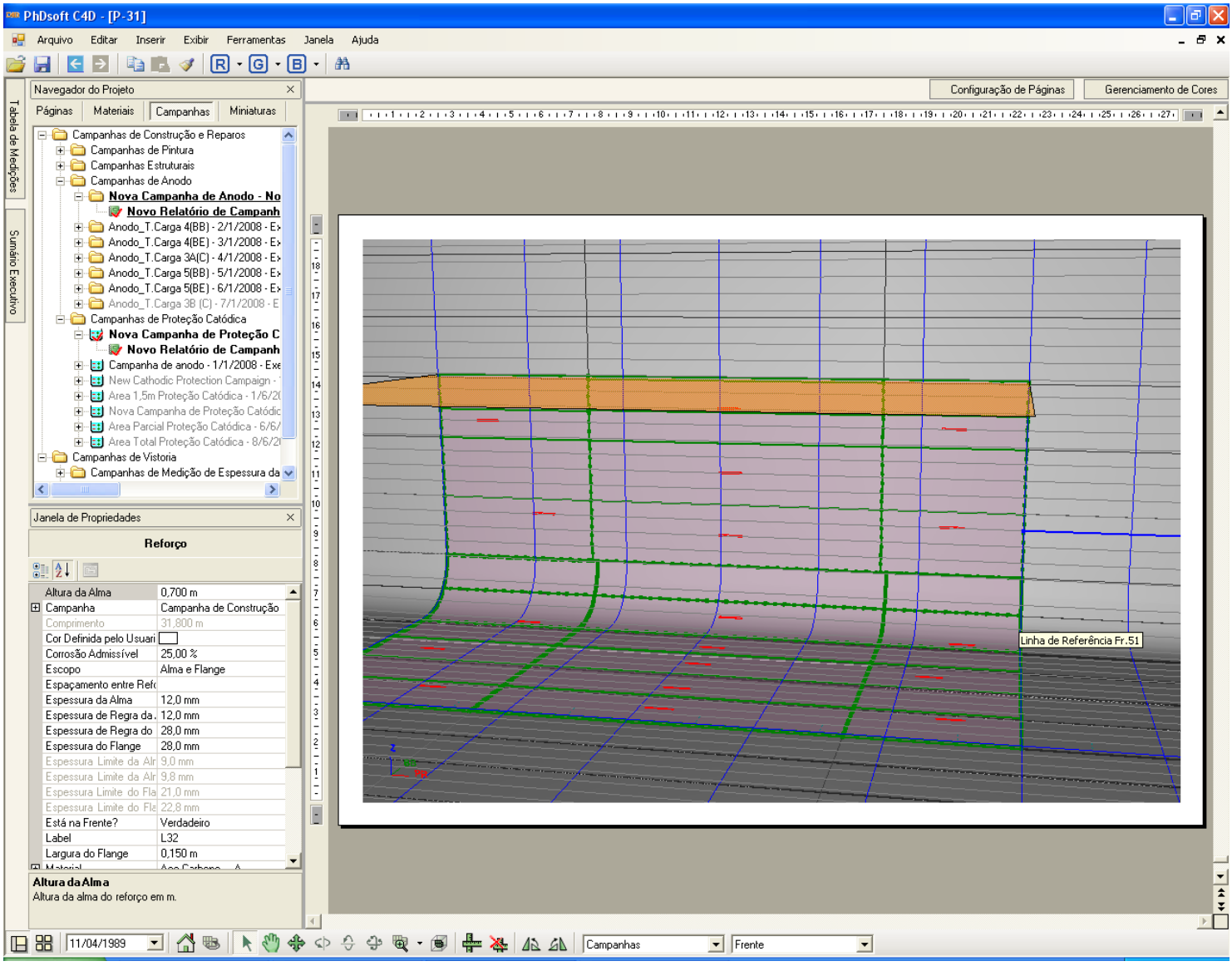


Figura 18 – Visualização dos anodos distribuídos em um dos costados e fundo do tanque. Logo acima dos anodos pode-se verificar a linha do plano auxiliar (na cor laranja) que indica o limite superior da área a ser protegida catodicamente

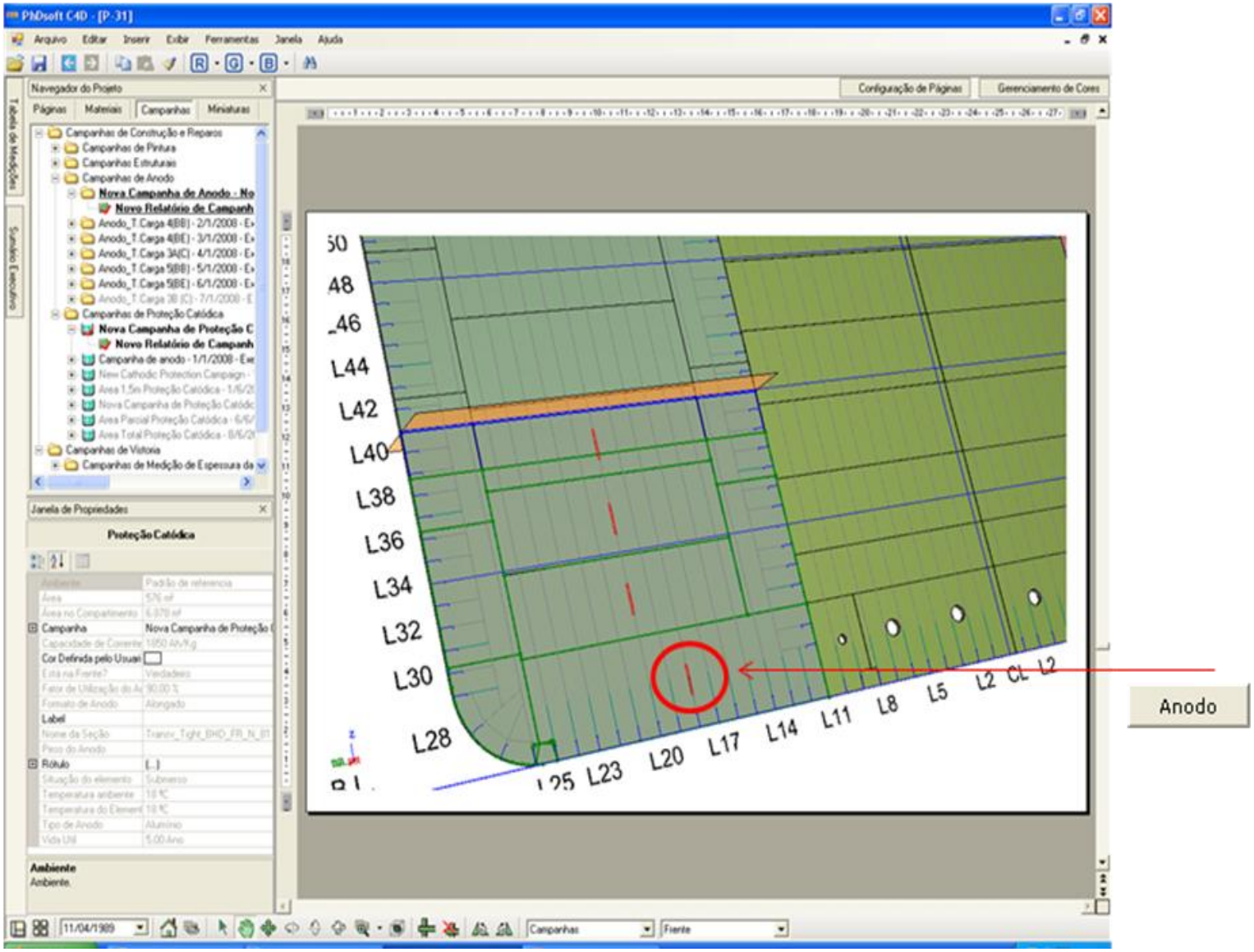


Figura 19 – Visualização dos anodos distribuídos em uma das cavernas do tanque. Logo acima dos anodos pode-se verificar a linha do plano auxiliar (na cor laranja) que indica o limite superior da área a ser protegida catodicamente

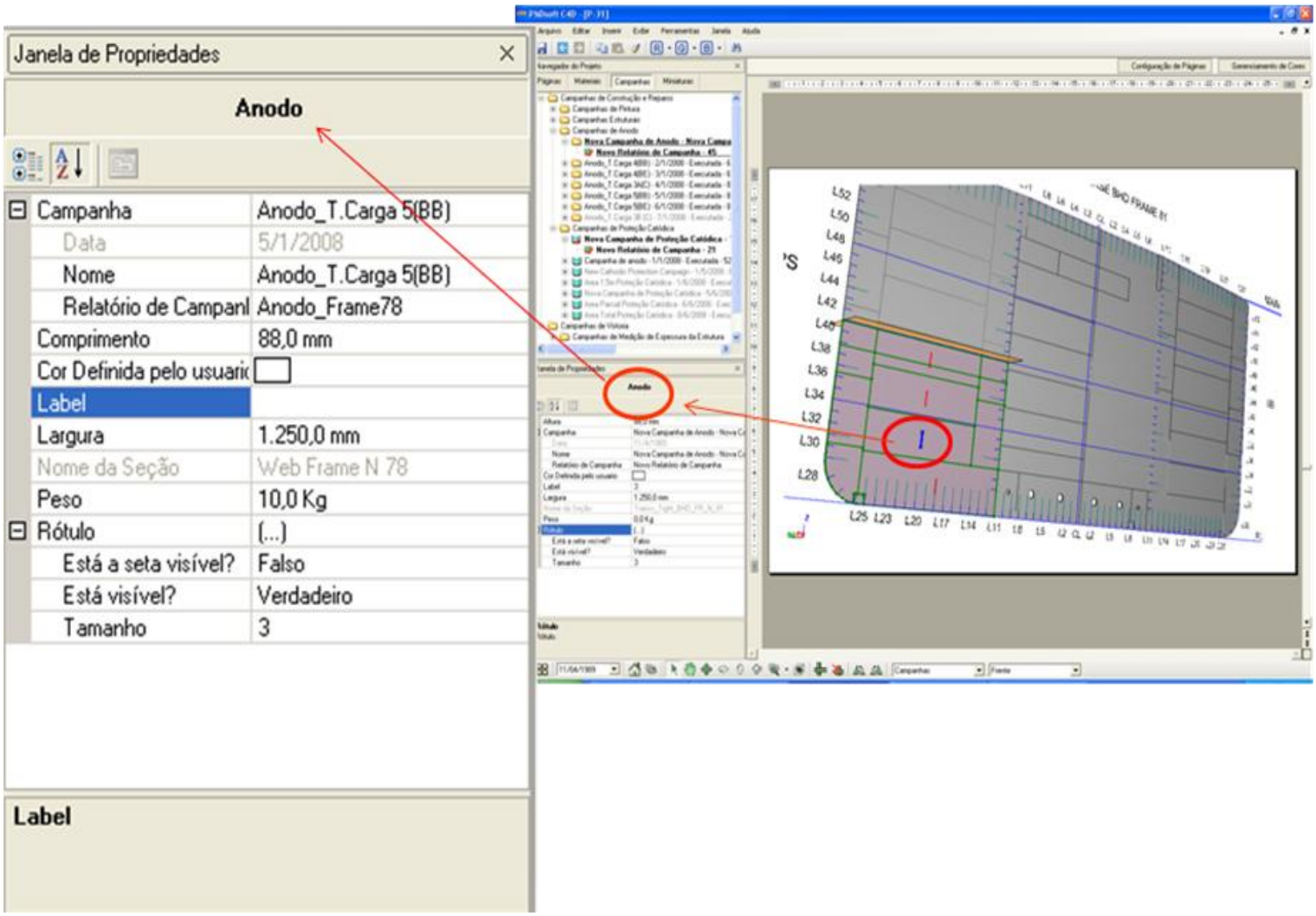


Figura 20 – Visualização de informações sobre o anodo na “Janela de Propriedades” além das informações sobre o tanque que está sendo protegido catodicamente

Conclusões

A utilização de uma ferramenta computacional é uma alternativa viável e confiável para o dimensionamento e alocação de anodos do sistema de proteção catódica no interior de tanques de unidades marítimas flutuantes do tipo FPSO (Floating, Production, Storage and Offloading). Contudo o uso de um programa não exime a responsabilidade e experiência do projetista de proteção catódica, que deve analisar a distribuição automática efetuada pelo programa computacional e deverá identificar possíveis áreas críticas como, por exemplo, áreas de sombreamento que devem ser bem cobertas pela corrente dos anodos galvânicos. Nestes casos específicos o programa permite a redistribuição manual de um ou mais anodos de maneira a eliminar ou minimizar estas regiões críticas.

A ferramenta também tem a vantagem de ajudar na elaboração dos desenhos "conforme construído", após finalização da instalação dos anodos. Uma vez finalizados os serviços de instalação, os arquivos do projeto devem ser devidamente arquivados para orientação e atualização em quaisquer serviços de intervenção realizados posteriormente no sistema de proteção catódica da unidade.

Fica como sugestão neste trabalho numa etapa posterior desenvolver outra ferramenta ou neste mesmo programa, ou associado a outro tipo de ferramenta, para a simulação numérica de valores de potencial ao longo da superfície dos tanques, uma vez que este programa dimensiona o número total de anodos e os distribui de uma maneira uniforme e mais eqüidistante possível dentro das limitações do programa.

Também ficam como sugestões de próximos passos com este programa:

- Uso da ferramenta e verificação de melhorias nos assistentes de dimensionamento e de alocação de anodos

- Inserir novos modelos de unidades marítimas no banco de dados do programa como, por exemplo, plataformas do tipo SS (semissubmersíveis) e do tipo Fixas (jaquetas).

- Desenvolvimento dos cálculos para plataformas do tipo SS e fixas, para superfícies de outras estruturas como jaqueta, colunas/flutuadores, caixas de mar, etc

Referências bibliográficas

PETROBRAS, Projeto, Montagem e Pré-Operação de Sistemas de Proteção Catódica para Instalações Marítimas Flutuantes, Rev. 0, Rio de Janeiro 2008 (PETROBRAS N-2838).

PETROBRAS, Anodos de Liga de Alumínio, Rev. D, Rio de Janeiro 2008 (PETROBRAS N-1729).

PETROBRAS, Anodos de Liga de Zinco, Rev. C, Rio de Janeiro 2006 (PETROBRAS N-1732).

Edson Góis, General Requirements for Cathodic Protection System of Offshore Floating Installations, Rev. G, Rio de Janeiro 2008, I-ET-3000.00-1000-750-PCI-001 (Especificação Técnica PETROBRAS).

Walmar Baptista, Projeto de Proteção Catódica para Equipamento Submarino, Rev. F, Rio de Janeiro 2000, ET-3500.00-1516-940-PDS-011 (Especificação Técnica PETROBRAS).