

## **AVALIAÇÃO DAS POSSÍVEIS CAUSAS DE DETONAÇÃO PREMATURA EM OPERAÇÕES DE CANHONEIO**

**Ferreira, Arnaldo, [arnaldo@ime.eb.br](mailto:arnaldo@ime.eb.br)<sup>1</sup>;**  
**Santiago, David Gomes, [dsantiago@ctex.eb.br](mailto:dsantiago@ctex.eb.br)<sup>2</sup>;**  
**Abrunhosa, José Diniz Mesquita, [diniz\\_abrunhosa@uol.com.br](mailto:diniz_abrunhosa@uol.com.br)<sup>1</sup>;**  
**Soares, Antonio Claudio, [aclaudio@petrobras.com.br](mailto:aclaudio@petrobras.com.br)<sup>3</sup>;**  
**Riscado Chaves, Carlos Augusto, [cachaves@oi.com.br](mailto:cachaves@oi.com.br)<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Militar de Engenharia, Praça General Tibúrcio 80, Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ - 22290-270

<sup>2</sup>Centro Tecnológico do Exército, Av. das Américas 28.704, Guaratiba, Rio de Janeiro, RJ -

<sup>3</sup>Petróleo Brasileiro S.A., CENPES, Av. Horácio Macedo 950, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ – 21941-915

<sup>4</sup>MCA Service Prestadora de Serviços Ltda, Rua Bororos 76, São Francisco, Niterói, RJ – 24360-160

**Resumo:** Um trabalho de investigação foi realizado com a finalidade de levantar possíveis causas de detonação prematura quando utilizando o sistema de canhoneio na perfuração de poços de óleo. Foram estudados alguns casos quando o canhão encontrava-se carregado com explosivo e em condições de utilização. Procedeu-se a realização de contatos iniciais com fornecedores de equipamentos e serviços, visando à realização de visitas técnicas, com intuito de avaliar as hipóteses formuladas, principalmente quanto aos fatores operacionais e ao material. Em virtude do longo tempo transcorrido da data dos acidentes, alguns indícios, detalhes de procedimento e equipamentos, foram perdidos ou modificados, devido às providências já tomadas para prevenir futuros acidentes. Assim, restringida pelas dificuldades encontradas, a equipe adotou uma metodologia para as visitas, propondo aos fornecedores de equipamentos e serviços que realizassem uma descrição dos trabalhos necessários para a realização de um serviço de canhoneio. Prováveis pontos, passíveis de causar acidentes, foram levantados e medidas são recomendadas para evitar futuros acidentes.

**Palavras-chave:** Canhoneio, Detonação Prematura, Segurança de Operações

### **1. INTRODUÇÃO**

As operações de canhoneio na indústria petrolífera estão baseadas na aplicação do efeito de carga oca, também conhecido como Efeito *Munroe*, produzido por explosivos, de modo que se obtenham perfurações em rochas. Este efeito foi amplamente estudado pela indústria bélica, juntamente com as condicionantes de segurança no emprego de explosivos. A indústria petrolífera utiliza um mecanismo que tem o início em um dispositivo elétrico de disparo, conhecido como detonador elétrico, este inicia um cordel detonante que por sua vez aciona as cargas explosivas possuindo carga oca. Muitas das munições modernas, que empregam o efeito *Munroe*, são consideradas altamente seguras. Estas também possuem um detonador elétrico, que inicia uma carga reforçadora, que por sua vez aciona a carga explosiva. Entretanto, estes dispositivos militares normalmente apresentam também uma segurança mecânica. Outros dispositivos além da segurança mecânica apresentam também uma segurança pneumática. O número de segurança extra é uma função do poder de destruição do artefato bélico.

Em termos de indústria bélica, a análise também deve ser realizada ao nível do operador, ou seja, as pessoas mais diretamente afetadas pelas conseqüências de uma falha. Alguns fatores primordiais podem ser considerados nesta análise:

- 1) Tipos de Seguranças para a Operação;
- 2) Condição do procedimento escrito;
- 3) Fatores que contribuem para a ocorrência de incidentes;
- 4) Gravidade das conseqüências.

Não obstante, deve-se considerar que o operador pode contribuir tão significativamente para a ocorrência de incidentes quanto um procedimento escrito inadequado. A partir destas considerações iniciais, propõe-se avaliar os procedimentos de segurança adotados na realização de operações de canhoneio.

O objetivo maior é analisar as causas da detonação prematura, em operação de canhoneio, como a ocorrida na sonda SPM-22, operando na bacia de Aracaju – SE, de modo a minimizar a ocorrência de uma detonação prematura.

## 2. HISTÓRICO SUCINTO

Durante a operação de canhoneio de poço realizada na plataforma PCM-09 pela sonda SPM-22 na bacia Sergipe-Alagoas ocorreu um acidente, sem vítimas, pelo acionamento involuntário de um canhão contendo cargas ocas.

No início da operação o canhão encontrou dificuldade para descida e vários movimentos, ascendentes e descendentes, foram executados para vencer esta resistência. No momento do acidente, o canhão encontrava-se prestes a descer pela coluna do revestimento do poço, quando houve o disparo, com a perfuração do aço, abrindo furos na parte superior do revestimento, provocando estilhaços e emissão de jatos metálicos produzidos pelo acionamento das cargas ocas. Obedecendo ao procedimento de segurança utilizado, não havia pessoas próximas, o que evitou a ocorrência de vítimas, não obstante a necessidade de se apurar as causas do acionamento intempestivo das cargas.

Conforme conclusões do trabalho realizado por técnicos da empresa e da *Franklin Applied Physics* a causa do inoportuno acionamento foi uma descarga eletrostática no detonador, resultante do acúmulo de cargas na extremidade inferior do canhão (*Bottom Noise*), que fica eletricamente isolado do corpo do canhão, carga esta que foi acumulada devido aos movimentos realizados para vencer a resistência na descida do canhão. Foi também concluído que os detonadores utilizados a partir de então deveriam ser 100% aprovados em teste dielétrico.

Não obstante esta conclusão faz-se necessário, ainda, outra análise técnica, objetivando evitar ou minimizar a ocorrência de novos eventos dessa natureza.

## 3. METODOLOGIA

A realização de ensaios complementares, assim como o conhecimento da rotina de operação e dos equipamentos, é imprescindível ao desenvolvimento do trabalho. Desta forma, a equipe procedeu a variados contatos, tudo visando à realização de visitas técnicas aos fornecedores de equipamentos e serviços.

O objetivo principal das visitas técnicas foi avaliar os mais diversos parâmetros que constituem o sistema da sonda, bem como averiguar as hipóteses formuladas para explicar o acidente, assumindo papel de vulto os fatores operacionais e materiais.

Cabe ressaltar que a equipe encontrou algumas dificuldades que devem ser destacadas, pois de alguma forma restringiram ou limitaram o campo de trabalho disponível. Em virtude do longo tempo transcorrido desde a data do acidente, alguns indícios, detalhes de procedimento e equipamentos foram extraviados, corrompidos ou modificados, tudo devido às providências tomadas após o incidente.

Desta forma, a equipe adotou como metodologia para as visitas propor junto aos fornecedores de equipamentos e serviços que fosse realizada uma descrição do Fator Material e Operacional necessários para a realização de um serviço de canhoneio.

## 4. DESENVOLVIMENTO

### 4.1. Visita a Empresa Prestadora do Serviço

A visita à empresa prestadora de serviços que realizou a operação de canhoneio proporcionou o conhecimento de seu procedimento na preparação, montagem e disparo do canhão, e foi de importância fundamental para identificar possíveis fatores de insegurança quando da realização da operação de canhoneio que ocasionou o acidente.

Buscou-se, na oportunidade, verificar o procedimento de montagem e de operação do canhão, bem como realizar observações acerca do material constituinte das diversas peças componentes do sistema. Inicialmente notou-se, conforme a Fig. (1), a existência do centralizador e ponta, visando a assegurar o foco da detonação.



Figura 1: Vista do centralizador e ponta.

Apurou-se ainda que um mesmo tubo pode se prestar a várias utilizações. Quando estão inservíveis podem apresentar dificuldades na descida pela coluna de revestimento, apresentando a configuração da Fig. (2), com uma série de irregularidades dimensionais ao longo do comprimento do tubo, denotando ondulações que implicam em perda de precisão e em fragilização do aço constituinte do aparato.

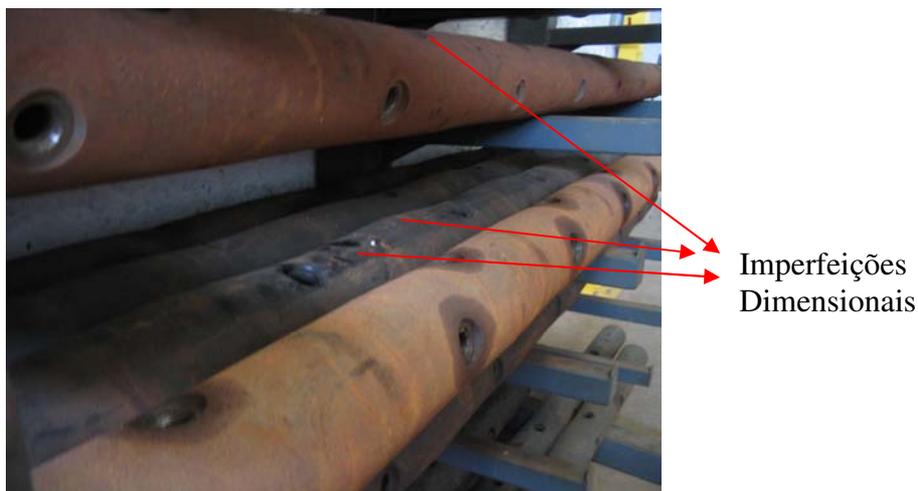


Figura 2: Tubos inservíveis de canhão, devido às variações dimensionais de espessura ao longo do comprimento.

A Figura 3 mostra o gabinete móvel contendo o aparato eletrônico de forma a conceder segurança às operações de canhoneio, tanto no mar quanto em terra. Antes da detonação é importante garantir a inexistência de correntes residuais, bem como assinalar a existência das quatro seguranças descritas a seguir:

- Chave de segurança, visando a aterrar o sistema;
- Necessidade de o processo ser conduzido por duas pessoas, uma para habilitar o sistema e outra para efetuar o disparo;
- Faixa de erro de 0,5 m na profundidade de detonação;
- Manuseio do seletor DC.



(a)



(b)

Figura 3: (a) Visualização externa do gabinete; (b) Visão interna de parte do gabinete exibindo no detalhe vermelho, a chave de segurança.

Paralelamente, foi possível avaliar as diversas hipóteses formuladas na apuração do acidente, havendo evidências de que a peça de fundo do canhão e o intermédio, elemento que possibilita a montagem de dois canhões para um tiro seletivo, possuem contato elétrico com o corpo do canhão. Tal fato ocorre porque as peças, apesar de terem um anel

polimérico para a vedação, são fixadas através de uma rosca de engate rápido e parafusos de travamento, como mostrado na Fig. (4).



Figura 4 – Peças de fundo no círculo em azul e de união (intermédio) em vermelho para canhões.

Assim, a hipótese de isolamento elétrico do fundo do canhão, conforme hipótese apresentada pela *Franklin Applied Physics* seria algo possível, porém muito raro de ser observado, principalmente ao se considerar que o acionamento acidental se deu após uma série de movimentos de idas e vindas, gerando vigoroso deslocamento relativo entre as diversas peças componentes, e tornando bastante razoável a possibilidade de contato entre partes consideradas isoladas numa condição de equilíbrio estático.

Também foi apresentado o painel para o sistema de seletividade de disparo na operação de canhoneio, que permite selecionar, através da utilização de diodos e de corrente contínua e de acordo com a polaridade aplicada, a forma de disparo de um dado detonador, como está representado na Fig. (5). Esta configuração é muito interessante, pois oferece vantagens, tais como:

- a redução no tempo de operação;
- maior flexibilidade;
- a utilização de um único cabo ( “Linha de Fogo”) para executar diversos disparos.

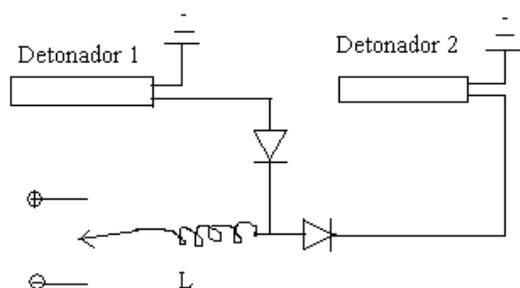


Figura 5: Disparo seletivo: positivo dispara o detonador 1 e negativo dispara o detonador 2.

Observa-se, na Fig. (5), que a linha L, quando fora de ação, torna o circuito “Flutuante” se a “Linha de Fogo” não for blindada e totalmente aterrada.

Como a configuração de seletividade necessita de uma mudança de polaridade para que ocorra certa detonação, isto implicará na alteração do terra e em uma situação na qual poderá não existir a condição de curto-circuito para os terminais do detonador.

Outra condição possível seria a ocorrência de um defeito de fuga em um diodo, o que poderia ser provocado pelo advento do calor. Nesse caso, a presença de uma polaridade na “Linha de Fogo” implicaria no disparo, entretanto a investigação do acidente não identifica qualquer tipo de corrente na linha no momento do disparo.

Ainda com relação aos procedimentos, foi apresentada a última versão do Procedimento de Segurança em Operações com Explosivos que, de uma forma bem objetiva, apresenta ações que, juntamente com a utilização de detonadores mais seguros, minimizam a possibilidade de acidentes, pois está direcionado para reduzir ou mitigar a incidência de fatores externos que podem causar algum tipo de perturbação no correto desenrolar da operação.

#### 4.2. Visita a Empresa Fabricante do Detonador

No intuito de observar o fator material e operacional, foi realizada uma visita à empresa fabricante do dispositivo detonador. Durante a visita foram apresentados à equipe os procedimentos referentes ao detonador, as modificações implementadas no processo produtivo após o evento do acidente, e a inclusão de testes de aceitação com relação à sensibilidade eletrostática, às cargas espúrias e à resistência à tração.

Ressalte-se que uma vez que a investigação inicial concluiu que o lote utilizado do detonador apresentou defeito, foi decidido pela empresa realizar investimentos de modo a recuperar a confiabilidade do produto. Foram estabelecidos, em conjunto com o cliente, novos testes e novos procedimentos de modo que os detonadores pudessem novamente ser utilizados em larga escala e recuperar seu mercado.

Foi incluído o teste, segundo a MIL – DTL – 23659D, que simula uma faísca produzida pela descarga de uma pessoa carregada eletrostaticamente, conforme apresentado na Fig. (6) a seguir:



Figura 6 - Equipamento para o teste eletrostático.

Além deste teste, também foi incluído a realização de um teste *Hipot*, ou seja, um teste para garantir uma segurança contra correntes de fuga de alta voltagem. O Aparelho utilizado para de teste *Hipot* é um Vitrek V60 com a utilização de uma rampa de tensão DC crescente de 0 a 6 kV em 3,0 segundos a uma corrente de 7,5 mA, conforme apresentado na Fig. (7), este tipo de teste também representa um nível de segurança contra correntes provenientes de transientes de alta tensão.



Figura 7 - Aparelho Vitrek V60 para teste *Hipot*.

Observou-se também que a nova configuração do detonador apresenta um componente chamado *Spark gap*, que é um invólucro de alumínio na região dos resistores, que atua como eletrodo próximo para que em caso de uma descarga de fio para fio ou de fio para estojo de a mesma não chegue à ponte elétrica. Foi ainda relatado pelos técnicos da empresa que a nova configuração dos detonadores é 100% testada nos testes de segurança eletrostática segundo a MIL-DTL-2365D e também 100% testados no teste *Hipot* já apresentado.

Desta forma vislumbrou-se então a possibilidade de realizar nas instalações do fabricante alguns ensaios nos detonadores correspondente ao lote utilizado no acidente, ou em caso de impossibilidade por inexistência de um lote de testemunho, utilizar peças de um lote que tenha as características configuracionais semelhantes, a fim de averiguar os resultados apresentados.

## 5. REALIZAÇÃO DOS TESTES NOS DETONADORES

### 5.1. Testes de Descarga Eletrostática

Foi solicitada a produção de uma amostra de cento e vinte e cinco detonadores preparados conforme o procedimento e configurações antigas. Não sendo possível o teste no lote original, estimou-se que deveria ocorrer um comportamento próximo aos resultados obtidos no lote do evento do acidente.

Para a realização dos ensaios, foram escolhidas aleatoriamente dez detonadores para serem submetidos a um exame radiográfico para que fosse visualizada e confirmada a ausência dos *Spark gap*. Destinaram-se 75 peças para a realização dos testes segundo a Norma MIL-DTL-2365-D para ensaio fio para fio e fio para estojo. A seqüência de realização dos testes acima está representada na Fig. (8) a seguir, onde na parte superior é mostrado o teste fio para fio e na parte inferior o teste fio para estojo.

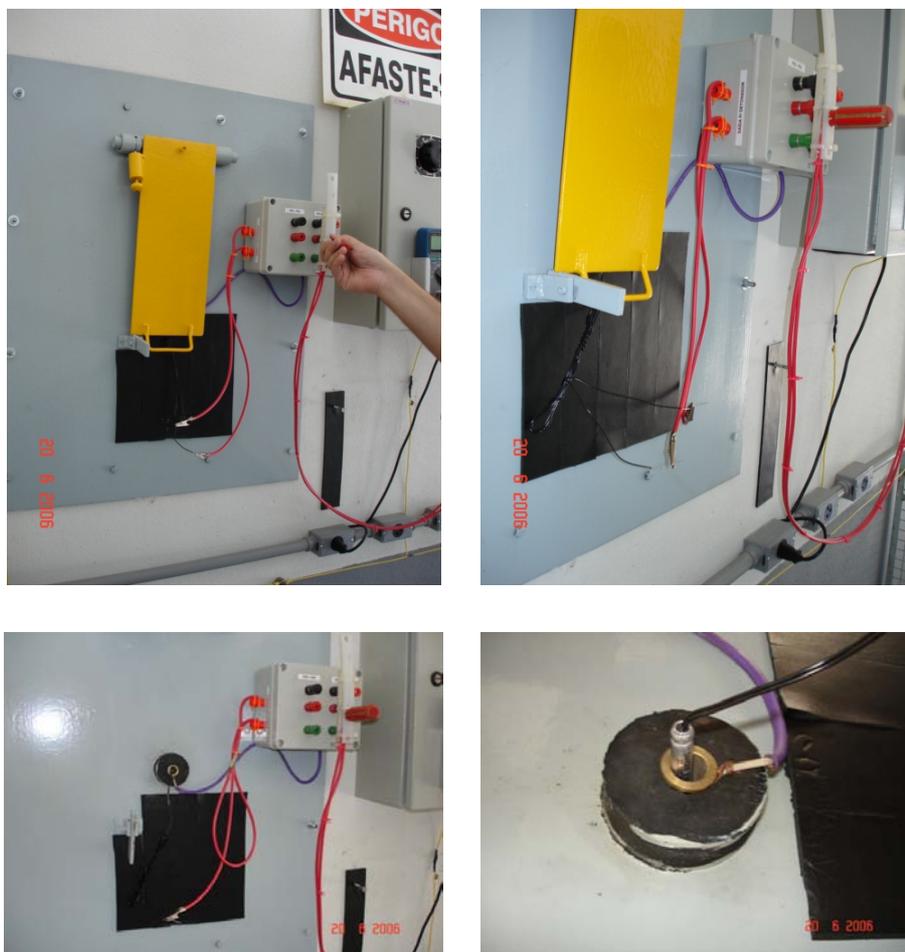


Figura 8 - Teste segundo a MIL-DTL-2365-D

(a) Parte Superior – Teste fio para fio; (b) Parte Inferior – Teste fio para estojo.

Nos testes realizados não ocorreu nenhum disparo, ou seja, nenhuma rejeição foi observada nos 75 detonadores testados em ambos os testes.

## 5.2. Testes Hipot

A seqüência de realização dos ensaios consistiu na aplicação do teste na posição fios para estojo com uma rampa de 6kV em 3 segundos a uma corrente de 7,5 mA nas 50 amostras restantes. A Fig. (7) já exibiu apresentou como o testes é realizado

Nos testes realizados ocorreram 4 ( quatro ) disparos, ou seja, 4 ( quatro ) rejeições foram observadas.

## 5.3. Resumo dos Testes

A Tabela 1 a seguir mostra um resumo dos testes realizados e os resultados obtidos:

**Tabela 1 – Testes realizados e resultados obtidos.**

Teste	Objetivo	Total	Aprovados	Rejeitados	% de Falhas
MIL-DTL-2365-D Fio para Fio	Segurança contra Falha Eletrostática	75	75	0	0,0
MIL-DTL-2365-D Fio para Estojo	Segurança contra Falha Eletrostática	75	75	0	0,0
Hipot Fio para Estojo	Segurança contra Correntes de Fuga	50	46	4	8,0

O teste de segurança eletrostática segundo a MIL-DTL-2365-D simula uma descarga eletrostática que pode ser acumulada em uma pessoa, sendo um teste que se destina a segurança de manuseio do detonador, e nestes testes realizados obteve-se um índice de 100% de aprovação, o que representa uma tendência a ser considerada, pois representa a segurança de manuseio do detonador. Entretanto deve-se recordar que só se deve considerar seguro o detonador que passou no teste.

Para o teste *Hipot* obteve-se um índice de falhas ou rejeições de 8 %, indicando que a configuração antiga do detonador era susceptível de detonação por correntes espúrias provocadas por equipamentos elétricos. Este resultado reforça a probabilidade de ocorrência do disparo devido a uma descarga elétrica.

## 6 - CONCLUSÕES

- Foram encontradas fortes evidências de que há contato elétrico entre o corpo do canhão e a peça de fundo do canhão, o que embora seja possível, torna remota a hipótese da centelha ter ocorrido do corpo do detonador para a ponte elétrica;
- As características do processo de seletividade na operação de canhoneio contribuem para a vulnerabilidade do sistema, visto que na posição neutra não se encontra aterrada;
- Os detonadores utilizados na época eram vulneráveis às tensões elétricas provenientes de equipamentos elétricos, o que foi comprovado pelos testes Hipot, devendo ser considerada também a hipótese de ocorrência de transientes de Corrente Alternada, caso no momento da operação houvessem motores ou geradores ligados na plataforma;
- Dentre as causas prováveis analisadas do funcionamento intempestivo do detonador, destacam-se: corrente elétrica pela linha de fogo e o contato direto de um “objeto carregado” com a linha de fogo;
- Diferentemente do apresentado, observou-se a possibilidade de os detonadores antigos apresentarem segurança eletrostática segundo a MIL-DTL-2365-D. Em nenhum dos 75 detonadores testados houve sequer uma falha;
- Embora o tamanho da amostra tenha sido pequeno, porém realizado de acordo com a Norma 1217 – Espoleta Sismográfica, atualização J, da Petrobrás S.A. e que se aplique a um lote de recebimento e não para verificar a qualidade da produção, não ficou caracterizada uma falha de 7% detectado pela empresa;
- Devido à idade dos detonadores utilizados serem inferior a garantia de dois anos dada pelo fabricante, o que está de acordo com o artigo 30 do Manual Militar T9-1903, não houve necessidade de realização de exames de estabilidade química;
- Em virtude de todos os detonadores, fabricados segundo a nova configuração que apresenta o componente chamado “Spark gap”, serem testados em 100% dos produtos, não houve necessidade de executar os mesmos testes na configuração atual.

## 7 - RECOMENDAÇÕES

A Tabela 2 a seguir resume as causas mais prováveis de ter provocado o acidente de acordo com a investigação realizada, bem como o procedimento recomendado, relacionando um índice numérico da causa variando de zero a cinco, conforme a escala abaixo. Esta escala foi elaborada pelos presentes investigadores e serve apenas como um guia para melhor compreensão dos resultados.

INDICE	Zero	1	2	3	4	5
PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA	Não Ocorre	Improvável	Pouco Provável	Provável	Muito Provável	Ocorre Sempre

**Tabela 2 – Provável Causas e Procedimentos Recomendados.**

Evento Causa	Descrição	Índice	Recomendação
Descarga Eletroestática do Corpo do Detonador para a Ponte Elétrica	Carga elétrica gerada pelo atrito durante o movimento	1,5	<b>Proteção da Ponte Elétrica.</b> Já realizada pelo fabricante com a colocação da peça “Spark Gap”
Descarga Eletroestática e Correntes de Fuga para a Linha de Fogo do Circuito de Disparo	Carga elétrica gerada pelo atrito durante o movimento e tensões elétricas proveniente de equipamentos elétricos	3,5	<b>Blindar a Linha de Fogo.</b> (Utilizar cabo blindado no circuito de disparo ); <b>Verificar periodicamente os dispositivos de aterramento</b>
Descargas Elétricas devido a Transientes de Corrente para a Linha de Fogo	Carga Elétrica gerada por transientes de Corrente Alternada, caso no momento da operação haja motores ou geradores ligados na plataforma;	3,5	<b>Evitar transientes de C A.</b> (não operar máquinas, geradores, motores, etc., durante operação de canhoneio); - <b>Blindar a Linha de Fogo.</b> <b>Verificar periodicamente os dispositivos de aterramento.</b>
Seletividade de disparo na operação de Canhoneio	Ação de Seletividade no processo de disparo, por usar uma única Linha de Fogo. Na posição neutra o sistema fica não aterrado	3,0	<b>Incluir sistema de aterramento distinto para operação de seletividade de disparo.</b>

## 7 - REFERÊNCIAS

Franklin Applied Physics, 2005, *Explosives and Pyrotechnics*, Newsletter of Explosives, Pyrotechnics and Devices, Vol 38, Number 7, pp. 1-4.  
MIL – DTL – 23659D  
Norma 1217 – Espoleta Sismográfica, atualização J, da Petrobrás S.A  
Manual Militar T9-1903,

## 8 – DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## EVALUATION OF POSSIBLE REASONS OF PREMATURE DETONATION OF AN OIL-WELL PERFORATING GUN

A research work was carried out in order to raise possible causes of premature detonation when using the system of gunfire in the drilling of oil wells. Some cases were studied when the gun was found loaded with explosives and in

conditions of use. There has been carrying out initial contacts with suppliers of equipment and services and focus on achieving technical visits, aiming to evaluate the assumptions made, especially regarding the operational factors and the material. Because of the long time elapsed from the date of the accident, some evidence, details of procedure and equipment were lost or modified due to the steps already taken to prevent future accidents. Thus, constrained by the difficulties encountered, the team adopted a methodology for visits, asking suppliers of equipment and services that make a description of the work necessary to perform a service of gunfire. Possible points likely to cause accidents, were raised and measures are recommended to prevent future accidents.

*Key Words: Oil-Well Perforating Gun, Premature Detonation, Safety Operations*

**. RESPONSIBILITY NOTICE**

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.