
 <b>PETROBRAS</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA</b>				Nº: ET-3000.00-1210-200-1DO-001					
	PROGRAMA:				<b>Poços</b>				Folha 1 de 12	
	ÁREA:				<b>Completação</b>					
<b>POCOS/EP/ITC</b>	TÍTULO:				<b>Tubo de Produção Revestido Internamente com DLC</b>				<b>PÚBLICA</b>	
									<b>POCOS/EP/ITC/ETP</b>	
Especificação Técnica de Requisitos										
<b>ÍNDICE DE REVISÕES</b>										
<b>REV</b>	<b>DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS</b>									
0	Original									
	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H	
DATA	17/07/2020									
PROJETO	EP/ITC									
EXECUÇÃO	EP/ITC									
VERIFICAÇÃO	EP/ITC									
APROVAÇÃO	EP/ITC									
AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA PETROBRAS, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.										
FORMULÁRIO PERTENCENTE À PETROBRAS										

	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE REQUISITOS</b>	Nº ET-3000.00-1210-200-1DO-001	REV. 0
	Completação		Folha 2 de 14
	TÍTULO: <b>TUBO DE PRODUÇÃO REVESTIMENTO INTERNAMENTE COM DLC</b>		PÚBLICA POCOS/EP/ITC/ETP

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	3
2	ESCOPO .....	3
3	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA .....	3
4	SIGLAS E ABREVIATURAS .....	4
5	DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS TÉCNICOS E FUNCIONAIS.....	5
6	REQUISITOS DIMENSIONAIS E PARA AS CONDIÇÕES OPERACIONAIS .....	6
7	REQUISITOS PARA REVESTIMENTO EM DLC.....	9
8	DOCUMENTOS.....	14

	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE REQUISITOS</b>	Nº ET-3000.00-1210-200-1DO-001	REV. 0
	Completação		Folha 3 de 14
	TÍTULO: <b>TUBO DE PRODUÇÃO REVESTIMENTO INTERNAMENTE COM DLC</b>		PÚBLICA POCOS/EP/ITC/ETP

## 1 INTRODUÇÃO


Incrustação é um dos grandes problemas enfrentados durante a produção de poços. O aumento da produção de água ao longo da vida produtiva do poço potencializa a ocorrência de depósitos salinos. Tradicionalmente a indústria utiliza sistema de injeção química para mitigar problemas de incrustação, no entanto a confiabilidade conferida pelo sistema é baixa e seu gerenciamento difícil, face a dinâmica de produção. Tubos de produção revestidos internamente com DLC (*Diamond-Like Carbon*) se mostram como uma alternativa atrativa e complementar ao sistema de injeção química para mitigar incrustação nos elementos tubulares. Portanto, com o objetivo de definir os requisitos técnicos e operacionais para a aquisição de tubos de produção revestidos internamente com DLC, foi elaborada esta Especificação Técnica de Requisitos (ET-R).

## 2 ESCOPO

Esta Especificação Técnica de Requisitos (ET-R) se destina a apresentar os requisitos técnicos e funcionais exigidos para a aquisição de tubos de produção revestidos internamente com DLC, a fim de reduzir depósitos salinos nos elementos tubulares que compõem a Coluna de Produção de poços submarinos. Esta ET-R deve, portanto, garantir uma correta especificação dos elementos tubulares revestidos em DLC para os cenários elencados pela Petrobras, com foco em confiabilidade e desempenho.

## 3 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- 3.1 **API Specification 5CT**, *Specification for Casing and Tubing*.
- 3.2 **ASME B46.1-2009**, *Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)*.
- 3.3 **ASTM B571**, *Standard Practice for Qualitative Adhesion Testing of Metallic Coatings*.
- 3.4 **ASTM C1624-05**, *Standard Test Method for Adhesion Strength and Mechanical Failure Modes of Ceramic Coatings by Quantitative Single Point Scratch Testing*.
- 3.5 **ASTM D7490-13**, *Standard Test Method for Measurement of the Surface Tension of Solid Coatings, Substrates and Pigments using Contact Angle Measurements*.
- 3.6 **ET-3000.00-1210-210-PPQ-001** – Tubos, Conexões e Reduções para Revestimentos e Colunas de Produção.
- 3.7 **ISO 14577-4:2016 (Part 4)**, *Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness and materials parameters: Test method for metallic and nonmetallic coatings*.
- 3.8 **ISO 15156 (Parts 1, 2, & 3)**, *Petroleum and natural gas industries - Materials for use in H<sub>2</sub>S-containing environments in oil and gas production*.
- 3.9 **ISO 26423-2009**, *Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Determination of coating thickness by crater-grinding method*.

	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE REQUISITOS</b>	Nº ET-3000.00-1210-200-1DO-001	REV. 0
	Completação		Folha 4 de 14
	TÍTULO: <b>TUBO DE PRODUÇÃO REVESTIMENTO INTERNAMENTE COM DLC</b>	PÚBLICA POCOS/EP/ITC/ETP	

#### 4 SIGLAS E ABREVIATURAS

$\gamma_S^d$  - Componente dispersiva da tensão interfacial entre a superfície do DLC e o ar

$\gamma_L^d$  - Componente dispersiva da tensão interfacial entre o líquido e o ar

$\gamma_S^p$  - Componente polar da tensão interfacial entre a superfície do DLC e o ar

$\gamma_L^p$  - Componente polar da tensão interfacial entre líquido e o ar

$\gamma_L$  - Tensão interfacial líquido/ar

$\theta$  - Ângulo de contato

ASME - *American Society of Mechanical Engineers*

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

DLC – *Diamond-Like Carbon*

DTPA – Ácido Dietileno Triamino Pentacético

EDTA – Ácido Etileno Diamino Tetracético

ELS – Energia Livre de Superfície

ET-R - Especificação Técnica de Requisitos

ISO - *International Organization for Standardization*

PECVD – *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*

PL – *Progressive Load*

OCTG – *Oil Country Tubular Goods*

SDSS – *Super Duplex Stainless Steel*

SIQ - Sistema de Injeção Química

	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE REQUISITOS</b>	Nº ET-3000.00-1210-200-1DO-001	REV. 0
	Completação		Folha 5 de 14
	TÍTULO: <b>TUBO DE PRODUÇÃO REVESTIMENTO INTERNAMENTE COM DLC</b>		PÚBLICA POCOS/EP/ITC/ETP

## 5 DESCRIÇÃO DOS REQUISITOS TÉCNICOS E FUNCIONAIS

### 5.1 Premissas

- 5.1.1 Os requisitos técnicos listados nesta ET-R deverão balizar os fornecedores acerca das necessidades técnicas e funcionais mínimas para tubos de produção revestidos internamente com DLC para emprego em poços submarinos do sistema Petrobras.
- 5.1.2 O fornecedor deverá informar as características técnicas do tubo de produção revestido internamente com DLC oferecido, bem como das conexões.
- 5.1.3 Deverá ser providenciada toda a documentação comprobatória dos requisitos técnicos exigidos, conforme solicitado nesta ET-R, sendo o fornecedor responsável pela veracidade das informações. Caso o equipamento não atenda integralmente aos requisitos exigidos, o fornecedor tem a obrigação de informar estas diferenças à Petrobras, que ao seu critério, pode ou não aceitar eventuais discrepâncias.
- 5.1.4 O sistema tubo de produção revestido internamente com DLC é composto por:
- 5.1.4.1 Tubo de produção conforme ET-3000.00-1210-210-PPQ-001 – Tubos, Conexões e Reduções para Revestimentos e Colunas de Produção, em sua última versão.
- 5.1.4.2 Metalurgia do tubo deve ser em SDSS.
- 5.1.4.3 Revestimento interno em DLC. O processo de deposição do DLC deve considerar um filme amorfo fino aplicado via processo plasmático a partir de um precursor de carbosiloxano pelo método PECVD (*Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*).
- 5.1.5 O tubo revestido internamente com DLC deverá contemplar todo o ciclo de vida do poço, sendo obrigatório que ele esteja íntegro enquanto o poço estiver operando.
- 5.1.6 Uma vez instalado no poço, o revestimento em DLC deverá proteger o tubo metálico da deposição de sólidos salinos, de forma permanente, ou seja, até que o poço seja descomissionado.
- 5.1.7 Uma vez instalado no poço, o tubo revestido com DLC deverá suportar choques, vibração e abrasão devido à operação *through tubing*.
- 5.1.8 O tubo revestido com DLC deverá suportar os carregamentos mecânicos (tração, compressão, flexão e torque) e de pressão (interna e externa) aplicados à coluna de produção durante e após a instalação no poço, mantendo seu desempenho mesmo nestas condições de carregamento.
- 5.1.9 O revestimento em DLC deve apresentar coeficiente de expansão térmica linear de mesma ordem de grandeza do material do tubo metálico ( $16 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ), para que não haja danos a ele devido à dilatação/contração do tubo metálico causada por variações térmicas durante operações no poço.
- 5.1.10 O tubo revestido com DLC deverá ser compatível com todos os produtos químicos empregados no poço, seja para tratamento químico do poço e/ou reservatório, como também de fluidos de completação ou de deslocamento, como também deve ser resistente à exposição contínua aos fluidos produzidos.
- 5.1.11 O revestimento em DLC não poderá sofrer delaminações e/ou desprendimento de material para o poço durante sua vida útil.
- 5.1.12 O fornecedor deverá disponibilizar um Manual de Boas Práticas, englobando compatibilidade química, limite térmico e todos os cuidados com manuseio, instalação e operação do sistema, incluindo as conexões.

	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE REQUISITOS</b>	Nº ET-3000.00-1210-200-1DO-001	REV. 0
	Completação		Folha 6 de 14
	TÍTULO: <b>TUBO DE PRODUÇÃO REVESTIMENTO INTERNAMENTE COM DLC</b>		PÚBLICA POCOS/EP/ITC/ETP

## 6 REQUISITOS DIMENSIONAIS E PARA AS CONDIÇÕES OPERACIONAIS

### 6.1 Requisitos dimensionais

6.1.1 O tubo de produção revestido internamente em DLC deve garantir dimensionais de OCTG (*Oil Country Tubular Goods*) (ver ET-3000.00-1210-210-PPQ-001, em sua última versão).

6.1.2 O revestimento em DLC deve apresentar espessura mínima de 0,1  $\mu\text{m}$  e máxima de 0,5  $\mu\text{m}$  (micrômetros), conforme descrito no item 7.4.

### 6.2 Requisitos para as condições operacionais

#### 6.2.1 Manobra

O tubo revestido internamente com DLC deverá ser capaz de suportar as vibrações e choques durante no poço (inclusive em poços desviados) tanto na instalação, e em casos específicos em que seja necessária a recuperação ou retirada da coluna (ver requisito de adesão no item 7.1).

#### 6.2.2 Fluidos do poço

O tubo revestido internamente com DLC deverá suportar exposição prolongada ao fluido de completação/*packer fluid* como também ao fluido de perfuração de base aquosa ou sintética orgânica, compatível com a saturação nas condições de pressão e temperatura, para as devidas descrições abaixo:

##### 6.2.2.1 Hidrocarbonetos

O tubo revestido internamente com DLC deverá suportar produção, injeção e contato prolongado com hidrocarbonetos nas fases líquida e gasosa, inclusive em operação de *gas lift* (ver requisito de adesão no item 7.9).

##### 6.2.2.2 Fluidos de completação

Fluidos de base aquosa assim como seus aditivos de salmouras e anticorrosivos (como o *packer fluid*), onde o limite máximo de utilização é equivalente ao valor saturado na água dos sais ou mistura de sais, conforme listados a seguir:

- Cloreto de sódio;
- Cloreto de cálcio;
- Brometo de cálcio;
- Brometo de sódio;
- Brometo de zinco;
- Formiato de sódio;
- Formiato de potássio;
- Formiato de céσιο;
- Misturas de Brometo de cálcio/Cloreto de cálcio;
- Misturas de Brometo de zinco/brometo de cálcio.

##### 6.2.2.3 Fluidos de Perfuração:

Fluido de base não aquosa em conformidade com os aditivos listados na Tabela 6.1.

*Tabela 6.1 - Componente / aditivos do fluido de perfuração*

Função	Componente
Fase contínua	N-parafina ou Olefina
Emulsificante primário	Ácido graxos
Emulsificante	Ácido graxo aminado
Fase emulsionada	Solução de NaCl saturado
Modificador de pH	Solução de cloreto de cálcio
Redutor de filtrado	Lignina organofílica
Viscosificante	Argila organofílica
Modificador reológico	Ácido graxo em parafina
Tamponador	Carbonato de cálcio
Adensante	Baritina

#### 6.2.2.4 Fluidos usados no sistema de injeção química de fundo

O sistema de injeção química (SIQ) de fundo de poço tem como objetivo permitir a dosagem correta de produtos químicos com a função de inibir depósitos inorgânicos e de asfaltenos e de inibir corrosão de equipamentos e de tubos de produção. O revestimento em DLC deve suportar contato direto e contínuo com os produtos químicos utilizados no SIQ de fundo a temperatura de 125 °C. A Tabela 6.2 mostra os produtos químicos tipicamente utilizados no SIQ.

*Tabela 6.2 - Produtos químicos utilizados no SIQ de fundo de poço*

Produto químico	Nome comercial	Concentração
<b>Inibidor de incrustação</b>	SCAL-16970SP	3.000 mg/L
<b>Inibidor de asfalto</b>	Flotreat DF 16689	600 ppm v/v
	EC 6849A	500 ppm v/v
	EAI-404	800 ppm v/v

#### 6.2.3 Água da formação

O tubo revestido internamente com DLC deverá suportar produção, injeção e contato prolongado com água da formação livre ou emulsionada, com salinidades elevadas, compatível com a saturação nas condições de pressão e temperatura do reservatório (ver requisito de adesão no item 7.9).

#### 6.2.4 Produtos Químicos


O tubo revestido internamente com DLC deverá suportar o contato com produtos químicos tradicionalmente utilizados no tratamento do reservatório e/ou do poço.

##### 6.2.4.1 Fluidos para estimulação ácida (ver requisito de adesão no item 7.9)

Fluido de base aquosa contendo os aditivos listados abaixo:

- Ácido acético
- Ácido clorídrico
- Ácido fórmico
- *Mud acid* (HCl + HF)

##### 6.2.4.2 Fluidos para remoção e inibição de incrustação (ver requisito de adesão no item 7.9)

	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE REQUISITOS</b>	Nº ET-3000.00-1210-200-1DO-001	REV. 0
	Completação		Folha 8 de 14
	TÍTULO: <b>TUBO DE PRODUÇÃO REVESTIMENTO INTERNAMENTE COM DLC</b>	PÚBLICA POCOS/EP/ITC/ETP	

Fluido de base aquosa contendo os aditivos listados abaixo:

- EDTA – Ácido etileno diamino tetracético
- DTPA – Ácido dietileno triamino pentacético

#### 6.2.5 Fluidos do reservatório

O tubo revestido internamente com DLC deverá suportar o contato prolongado com os fluidos produzidos. Neste caso o fluido produzido pode conter até 44% de CO<sub>2</sub>. O elemento tubular também deve estar apto para contato prolongado com H<sub>2</sub>S conforme ISO-15156.

#### 6.2.6 Exigências Mecânicas

O tubo revestido internamente com DLC descido no poço deve possuir mesma resistência mecânica exigida dos tubulares conforme a ET-3000.00-1210-210-PPQ-001 – Tubos, Conexões e Reduções para Revestimentos e Colunas de Produção, em sua última versão.

##### 6.2.6.1 Pressão Diferencial

Resistência a pressão diferencial de trabalho, nos sentidos do interior para o exterior dos equipamentos e vice-versa compatível com tubulares especificados no item 0.

##### 6.2.6.2 Pressão Absoluta

Resistência a pressão absoluta de trabalho interna e externa do tubo revestido internamente com DLC compatível com tubulares especificados no item 0.

##### 6.2.6.3 Tração / Compressão

Resistência a tração / compressão de trabalho compatível com tubulares especificados no item 0.

##### 6.2.6.4 Esforço combinado

Resistência ao esforço combinado de qualquer combinação dos itens anteriores.

#### 6.2.7 Faixa Operacional de Temperatura

6.2.7.1 Resistência do tubo revestido internamente com DLC a temperaturas que variam de 4 a 125 °C.



	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE REQUISITOS	Nº ET-3000.00-1210-200-1DO-001	REV. 0
	Completação		Folha 9 de 14
	TÍTULO: TUBO DE PRODUÇÃO REVESTIMENTO INTERNAMENTE COM DLC		PÚBLICA

## 7 REQUISITOS PARA REVESTIMENTO EM DLC

Os itens a seguir descrevem os testes e requisitos para o revestimento em DLC. Vale ressaltar que os testes para medição de ângulo de contato e determinação da energia livre de superfície (item 7.2) e o teste para medição de rugosidade (item 7.8) devem ser realizados antes e após os testes de compatibilidade química (item 7.9). Ao final desta seção é mostrada uma tabela com um resumo dos testes, indicando as normas a serem seguidas e tipo de amostras a serem usadas em cada ensaio.

### 7.1 Adesão

Deve ser utilizado a norma ASTM C1624-05 “*Standard Test Method for Adhesion Strength and Mechanical Failure Modes of Ceramic Coatings by Quantitative Single Point Scratch Testing*”, com aplicação de carga normal progressiva (Progressive Load, “PL”), faixa de 2 a 80 N, a uma taxa de 50 N/mim e os resultados expostos através das descrições exibidas na “*Table X 1.4 Scratch Atlas*”, com os valores das cargas críticas  $L_{CN}$ .

### 7.2 Ângulo de contato e energia livre de superfície (ELS)

O revestimento em DLC deve proporcionar reduzida energia de superfície. Para tanto, o ângulo de contato entre a superfície do tubo revestido em DLC e a gota de água (industrial) não deve ser inferior a 140°. Esta medida deve ser realizada usando um goniômetro e os valores de ângulos de contato usando dois líquidos padrões para calcular a energia de superfície, na temperatura de 20 °C. As medidas devem ser realizadas em amostras considerando placas planas, de mesmo substrato que será usado no campo. Para tanto, deve ser seguida a norma ASTM D7490–13. Para cada líquido, água e etileno glicol, deve ser usada uma gota com volume médio de 2,0 mL. O cálculo da energia livre de superfície (ELS) de cada superfície, deve considerar as tensões interfaciais água/ar e etileno glicol/ar ( $\gamma_{\text{água}} = 72,3 \text{ mN.m}^{-1}$  e  $\gamma_{\text{etileno glicol}} = 47,7 \text{ mN.m}^{-1}$ ). O cálculo deve ser realizado conforme modelo de OWRK (*Owens, Wendt, Rabel e Kaelble*), descrito na equação 1.

$$\gamma_L(1 + \cos \theta) = \sqrt{\gamma_S^d \cdot \gamma_L^d} + \sqrt{\gamma_S^p \cdot \gamma_L^p} \quad (1)$$


Onde:  $\theta$  é o ângulo de contato,  $\gamma_L$  é a tensão interfacial líquido/ar,  $\gamma_S^d$  é a componente dispersiva da tensão interfacial entre a superfície do DLC e o ar,  $\gamma_L^d$  é a componente dispersiva da tensão interfacial entre líquido e o ar,  $\gamma_S^p$  é a componente polar da tensão interfacial entre a superfície do DLC e o ar e  $\gamma_L^p$  é a componente polar da tensão interfacial entre líquido e o ar.

### 7.3 Dureza

O revestimento em DLC deve apresentar dureza mínima de 8 GPa. Deve ser seguida a norma ISO 14577-4:2016 “*Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness and materials parameters — Part 4: Test method for metallic and nonmetallic coatings*”, relatando os valores médios de dureza e módulo de elasticidade de no mínimo 10 ensaios em locais distintos da amostra.

### 7.4 Espessura média

Para a determinação da espessura média do revestimento em DLC, deve ser utilizada a norma ISO 26423-2009 “*Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Determination of coating thickness by crater-grinding method*” em amostras retiradas dos tubos revestidos e submetidas ao ensaio Calotest (“*Ball Crater Method*”, ver item 7.5 – Resistência à abrasão) até que seja possível a observação do substrato ou metal base. As

	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE REQUISITOS</b>	Nº ET-3000.00-1210-200-1DO-001	REV. 0
	Completação		Folha 10 de 14
	TÍTULO: <b>TUBO DE PRODUÇÃO REVESTIMENTO INTERNAMENTE COM DLC</b>		PÚBLICA POCOS/EP/ITC/ETP

evidências (registros fotográficos) devem ser disponibilizadas em relatório de qualificação.

#### 7.5 Resistência à abrasão

Os ensaios de abrasão devem ser executados em equipamento “Calotest” (“*Ball Crater Method*”), sem a aplicação de abrasivo e com os seguintes parâmetros:

- Esfera de aço 52100 temperado (60 HRC) com diâmetro de 25,4 mm
- Rotação de 250 rpm
- Carga de 2,25N
- Tempo de duração: 60 minutos.

Após o ensaio, deve ser realizada observação do local desgastado por meio de microscopia (óptica e/ou eletrônica de varredura). O revestimento em DLC é aprovado se não houver exposição das camadas intermediárias (se existirem) ou o metal base (substrato). As evidências (registros fotográficos) devem ser disponibilizadas em relatório de qualificação.

#### 7.6 Resistência à erosão

O revestimento em DLC deve apresentar resistência ao desgaste erosivo, tal que não comprometa o seu desempenho para o tempo de vida do poço (30 anos). O desgaste erosivo deve ser obtido utilizando a técnica de jatos impingentes e não deve ultrapassar  $1 \times 10^{-9}$  kg/kg. Para tanto, deve ser adotada a velocidade de ar de 4 m/s, concentração de 2% de partículas de areia com tamanho médio de 150  $\mu\text{m}$ . O aparato contendo a amostra de tubo revestido com DLC deve ser projetado de modo a proteger a região de interface da amostra com e sem o revestimento. Este aparato deve ser mergulhado em água industrial e o jato de ar com areia deve ser tangencial a amostra de DLC. O tempo mínimo de duração do teste deve ser de 12 h.

#### 7.7 Resistência ao dobramento

O revestimento em DLC deve ser resiliente ao dobramento do tubo em que ele está depositado. Para tanto, testes de flexibilidade se fazem necessários. Os ensaios de flexibilidade do revestimento devem ser realizados conforme norma ASTM B571 - 18 “*Standard Practice for Qualitative Adhesion Testing of Metallic Coatings*”, seção 3 (*Bend Tests*). A amostra com revestimento de DLC deve ser dobrada sobre um mandril (diâmetro do mandril: quatro vezes a espessura da amostra com revestimento de DLC) até que as suas “pernas” estejam paralelas. As rachaduras e fissuras no revestimento, observáveis sob ampliação (p. ex. lupa) não são indicativos de sua baixa adesão, a menos que possam ser retirados com um instrumento afiado.

#### 7.8 Rugosidade

A rugosidade média é uma medida importante visto que possui influência direta no fator de atrito, na qualidade da aderência a superfície do tubo, como também na resistência à corrosão e à fadiga. A sua determinação deve ser realizada através da norma ASME B46.1-2009 “*Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)*” principalmente a Ra (rugosidade média) e Rt (rugosidade total). A rugosidade média da superfície metálica revestida com DLC deve estar entre 2,0 a 4,0  $\mu\text{m}$ .

#### 7.9 Compatibilidade química

Para aplicações que envolvam exposição do revestimento em DLC a produtos químicos, a compatibilidade química deve ser avaliada. Para tanto, devem ser realizados ensaios de exposição (imersão) considerando as temperaturas, tempos de residência/exposição e concentrações dos produtos químicos conforme descrito abaixo.

O tempo de exposição deve ser determinado considerando-se as duas possibilidades a

seguir:

#### 7.9.1 Fluidos de contato contínuo

Nesse caso, testes de vida acelerada se fazem necessários, a menos que haja evidências robustas e rastreáveis de compatibilidade.

Deve ser realizada imersão em fluido com composição de acordo com a mostrada na Tabela 7.1 (75% salmoura/25% diesel) na temperatura de 125 °C e pH = 6, a fim de determinar a compatibilidade do revestimento em DLC para o limite de temperatura previsto para a operação. O tempo mínimo de exposição da amostra revestida em DLC deve ser de 720 h. O mesmo teste deve ser realizado com o inibidor de incrustação SCAL-16970SP, e um dos inibidores de deposição de asfaltenos apontados na Tabela 6.2 e nas mesmas condições descritas anteriormente.

*Tabela 7.1 - Composição de fluido para teste de compatibilidade química*

Fluido	Concentração
Diesel	-
Sódio	59.160
Cálcio	8.160
Potássio	3.860
Estrôncio	3.260
Cloreto	123.995
Bicarbonato	274
Salinidade (mg/L NaCl)	204.600
CO <sub>2</sub>	1 bara

Deve-se utilizar, no mínimo, 3 corpos de prova para cada um dos testes para a determinação das propriedades conforme destacadas a seguir, assim como os critérios de aceitação associados a cada um dos parâmetros avaliados.

1. Inspeção visual com registro fotográfico completo, em especial observando a eventual delaminação do DLC do substrato. As evidências devem ser disponibilizadas em relatório de qualificação.
2. O ângulo de contato medido conforme item 7.2 não deve ser inferior a 130°.
3. A variação na rugosidade média do material medida conforme item 7.8 deve ser no máximo de ( $\pm 20\%$  do valor original).

#### 7.9.2 Fluidos de contato pontual ao longo da vida do poço

Nesse caso, os testes de compatibilidade devem ser realizados com exposição de produtos químicos usados em operações eventuais no poço, tais como estimulação ácida, *squeeze* de inibição de incrustação ou qualquer outro tratamento químico do poço ou da formação. A Tabela 7.2 mostra a relação de produtos químicos, determinando o tempo de exposição e concentração do produto. Os testes devem ser realizados na temperatura de 100 °C. Os testes de compatibilidade química conforme mostrado na Tabela 7.2 são mandatórios para qualificação do tubo de produção revestido internamente

com DLC, a menos que haja evidências robustas e rastreáveis de compatibilidade.

*Tabela 7.2 - Relação de produtos químicos para teste de compatibilidade.*

Produto químico	Concentração	Tempo de exposição
Ácido clorídrico	15 %	72 h
Ácido acético	10 %	72 h
Ácido fórmico	10 %	72 h
EDTA	10 %	48 h
DTPA	20 %	48 h
<i>Mud acid (HCl / HF)</i>	13,5 % / 1,5 %	12 h

Devem-se utilizar, no mínimo, 3 corpos de prova para cada um dos testes para a determinação das propriedades conforme destacadas a seguir, assim como os critérios de aceitação associados a cada um dos parâmetros avaliados.

1. Inspeção visual com registro fotográfico completo, em especial observando a eventual delaminação do DLC do substrato. As evidências devem ser disponibilizadas em relatório de qualificação.
2. O de ângulo de contato medido conforme item 7.2 não deve ser inferior a 130°.
3. A variação na rugosidade do material medida conforme item 7.8 deve ser no máximo ( $\pm 20\%$  do valor original).

	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE REQUISITOS</b>	Nº ET-3000.00-1210-200-1DO-001	REV. 0
	Completação		Folha 13 de 14
	TÍTULO: <b>TUBO DE PRODUÇÃO REVESTIMENTO INTERNAMENTE COM DLC</b>		PÚBLICA POCOS/EP/ITC/ETP

*Tabela 7.3 – Resumo dos testes, amostras, dimensões e normas para o revestimento DLC*

<b>Teste</b>	<b>Tipo de amostra</b>	<b>Dimensões</b>	<b>Norma</b>
<b>Adesão</b>	Retirada do tubo	Conforme dimensão do porta amostra do equipamento	ASTM C1624-05
<b>Ângulo de contato e Energia livre de superfície</b>	Placas*	(2,5 x 2,5) cm	ASTM D7490-13
<b>Compatibilidade química</b>	Placas*	(2,5 x 2,5) cm	Ver item 7.9
<b>Dureza</b>	Placas*	Conforme dimensão do porta amostra do equipamento	ISO 14577-4:2016
<b>Espessura média do revestimento</b>	Retirada do tubo	Conforme dimensão do porta amostra do equipamento do ensaio Calotest	ISO 26423-2009
<b>Resistência à Abrasão</b>	Retirada do tubo	Conforme o porta amostras (ensaio Calotest)	Não disponível
<b>Resistência à Erosão</b>	Placa protegida lateralmente	Conforme dimensão do porta amostra do equipamento	Ver item 7.9
<b>Resistência ao Dobramento</b>	Chapas finas*	A espessura deve ser 4x menor ao diâmetro do mandril	ASTM B571 - 18
<b>Rugosidade</b>	Placas*	(2,5 x 2,5) cm	ASME B46.1-2009

\*Mesma liga metálica do tubo (SDSS)

	<b>ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE REQUISITOS</b>	Nº ET-3000.00-1210-200-1DO-001	REV. 0
	Completação		Folha 14 de 14
	TÍTULO: <b>TUBO DE PRODUÇÃO REVESTIMENTO INTERNAMENTE COM DLC</b>	PÚBLICA POCOS/EP/ITC/ETP	

## 8 DOCUMENTOS

Os documentos necessários à análise e aprovação técnica do sistema, deverão incluir pelo menos o seguinte:

- 8.1 Desenho esquemático do sistema.
- 8.2 Desenhos das principais dimensões de cada componente do sistema, em especial dos componentes críticos às operações de pescaria.
- 8.3 Procedimentos operacionais detalhados de instalação e recuperação incluindo o plano de contingências;
- 8.4 Relatórios de testes de qualificação.
  - 8.4.1 A qualificação deverá conter pelo menos, sem estar limitada à, os testes descritos na seção 7 e serem rigorosamente reportados para referência e classificação do sistema;
  - 8.4.2 Além dos requerimentos descritos na seção 7, os testes deverão seguir, no que couber e complementarmente, normas e padrões internacionais de aceitação e qualificação;

---

FIM DO DOCUMENTO