Especificação Técnica de Requisitos

ÍNDICE DE REVISÕES

REV	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
0	Edição Original
A	Inclusão de requisitos mínimos para ICV com DLC Exclusão de requisito de teste de abrasão Exclusão de requisito de teste de dureza Alteração do requisito de teste e dobramento Inclusão de compatibilidade química com xileno Alteração do requisito para ângulo de contato água-ar
B	Exclusão de parâmetros referentes à medição de ângulo de contato do item Siglas e Abreviaturas Alteração do item 6.1.3 em Requisitos Dimensionais e para as Condições Operacionais Alteração do item 7.2 (alteração de metodologia para determinação de ângulo de contato) em Requisitos para filme em DLC. Alteração do item 7.4 (flexibilização de parâmetros de testes de erosão e da razão de erosão permissível) em Requisitos para filme em DLC Alteração do item 7.6 (aumento da faixa de rugosidade do filme em DLC) em Requisitos para filme em DLC Alteração do item 7.7 (aumento do ângulo de contato mínimo em conformidade com nova metodologia para determinação desse parâmetro) em Requisitos para filme em DLC Alteração da Tabela 7.3 em Requisitos para filme em DLC
C	Inclusão das unidades na tabela 7.1. Inclusão da linha com a variável “pH” na tabela 7.1. Inclusão de coluna com temperaturas na tabela 7.2 com alteração na temperatura de teste com mud acid e ácido clorídrico para 50°C. Alteração do tempo de exposição ao ácido clorídrico para 48h na tabela 7.2.

	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	17/07/2020	23/12/2020	29/06/2021	25/03/2025					
PROJETO	EP/ITC	EP/ITC	EP/ITC	EP/ITC					
EXECUÇÃO	EP/ITC	EP/ITC	EP/ITC	EP/ITC					
VERIFICAÇÃO	EP/ITC	EP/ITC	EP/ITC	EP/ITC					
APROVAÇÃO	EP/ITC	EP/ITC	EP/ITC	EP/ITC					

AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA PETROBRAS, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.

FORMULÁRIO PERTENCENTE À PETROBRAS

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....8
7. REQUISITOS PARA FILME EM DLC....11
8. DOCUMENTOS....15

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. Também, válvulas de completação inteligente (ICV – *Interval Control Valve*) revestidas com DLC são uma excelente alternativa de inibir incrustação e evitar seus efeitos nocivos ao funcionamento de ICVs e ao gerenciamento de reservatórios. 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 e ICVs revestidos internamente com DLC, a fim de reduzir depósitos salinos. Esta ET-R deve, portanto, garantir uma correta especificação dos elementos tubulares e de ICVs 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 15156 (Parts 1, 2, & 3)**, *Petroleum and natural gas industries - Materials for use in H2S-containing environments in oil and gas production.*

3.8 **ET-3000.00-1210-276-PPQ-006** - Sistema de Completação Inteligente, em sua última versão

4. SIGLAS E ABREVIATURAS

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

ICV – Interval Control Valve

ISO - *International Organization for Standardization*

PECVD – *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*

PL – *Progressive Load*

OCTG – *Oil Country Tubular Goods*

SDSS – *Super Duplex Stainless Steel*

SEM – *Scanning Electronic Microscopy*

SIQ - Sistema de Injeção Química

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 elementos revestidos internamente com DLC para emprego em poços submarinos do sistema Petrobras.

5.1.2 O fornecedor deverá informar as características técnicas dos elementos revestidos internamente com DLC oferecido.

5.1.3 Deverá ser fornecida 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 elemento revestido internamente com DLC deverá contemplar todo o ciclo de vida do poço, sendo obrigatório que ele esteja íntegro enquanto o poço estiver operando.

5.1.5 Uma vez instalado no poço, o filme em DLC deverá proteger a superfície metálica onde ele foi aplicado de depósitos salinos, de forma permanente, ou seja, até que o poço seja descomissionado.

5.1.6 Uma vez instalado no poço, o elemento revestido com DLC deverá suportar choques, vibração e abrasão devido a operações *through tubing*.

5.1.7 O filme em DLC deverá ser capaz de manter seu desempenho de inibir incrustação mesmo com a aplicação dos máximos carregamentos mecânicos (tração, compressão, flexão e torque) e de pressão (interna e externa) nos elementos em que ele será aplicado durante e após a instalação no poço.

5.1.8 O filme em DLC deve apresentar coeficiente de expansão térmica linear de **mesma ordem de grandeza** do material do tubo metálico ($16 \times 10^{-6}\ ^{o}C^{-1}$), para que não haja danos a ele devido à dilatação/contração do tubo metálico causada por variações térmicas durante operações no poço.

5.1.9 O elemento 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 com fluidos de completação ou de deslocamento, como também deve ser resistente à exposição contínua aos fluidos produzidos (conforme descrito no item 7).

5.1.10 O filme em DLC não poderá sofrer delaminações e/ou desprendimento de material para o poço durante sua vida útil.

5.1.11 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.

5.2 Tubo Revestido Internamente com DLC

5.2.1 O sistema tubo de produção revestido internamente com DLC é composto por:

5.2.1.1 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.

5.2.1.2 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 carbo-siloxano pelo método PECVD (*Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*).

5.2.2 A metalurgia do tubo será especificada futuramente na ET-RBS associada ao processo de aquisição de tubo revestido internamente com DLC.

5.2.3 O filme de DLC não deverá ser aplicado na região das conexões dos tubos, nem nas regiões de vedação das conexões.

5.3 ICV Revestida com DLC

5.3.1 O sistema ICV revestida com DLC é composto por:

5.3.1.1 ICV em conformidade com a ET-3000.00-1210-276-PPQ-006 - Sistema de Completação Inteligente, em sua última versão.

5.3.1.2 Revestimento interno em DLC. O processo de deposição do DLC deve considerar um filme amorfo fino aplicado via processo plasmático pelo método PECVD (*Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*).

5.3.2 Os requisitos mínimos para a metalurgia dos componentes da ICV serão especificados futuramente na ET-RBS associada ao processo de aquisição de completação.

5.3.3 O DLC deve ser aplicado nas áreas molháveis da ICV, conforme ilustrado na figura 1 (linhas pretas), a não ser que seja proibitivo (i.e., região de conexão, região de selo dinâmico, metalurgia em carbeto de tungstênio, dificuldade de aplicação devido à geometria complexa do componente da válvula). A não aplicação do DLC em regiões requeridas deverá ser justificada tecnicamente e submetida à aprovação da Petrobras.

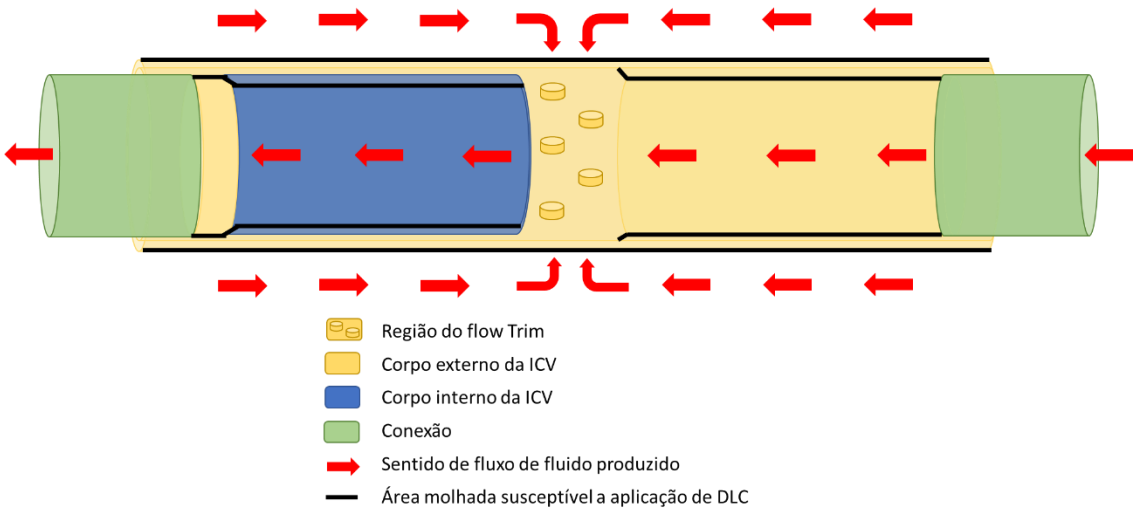

Figura 1. Regiões da ICV susceptíveis a aplicação de DLC.

5.3.3.1 Entende-se por corpo interno da ICV o mandril interno móvel da ICV, os perfis internos para *override* mecânico, a região interna do *flow trim* e as partes internas do corpo da ICV, tanto a região por onde o mandril se movimenta, como as partes estáticas no topo e na base da válvula.

5.3.3.2 Entende-se por corpo externo da ICV os componentes externos da mesma, tanto acima como abaixo das portas de fluxo, assim como a região externa do *flow trim*.

5.3.4 O filme em DLC não poderá interferir na funcionalidade da ICV. Após a aplicação do filme e montagem da válvula, ela deve ser testada na fábrica (FAT) para confirmação de que

os parâmetros de movimentação da válvula e sua performance em termos de vedação estejam dentro dos critérios de aceitação.

5.3.5 Antes da montagem da ICV deve ser verificado o dimensional dos componentes submetidos à aplicação do filme em DLC para confirmação do atendimento das tolerâncias máximas admissíveis.

5.3.6 Outros potenciais controles, como o acabamento e rugosidade final das peças também devem ser implementados, caso aplicável.

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*), conforme ET-3000.00-1210-210-PPQ-001, em sua última versão.

6.1.2 A ICV revestida com DLC deve apresentar dimensionais conforme previsto na ET-3000.00-1210-276-PPQ-006 - Sistema de Completação Inteligente, em sua última versão.

6.1.3 O revestimento em DLC deve apresentar espessura mínima de 0,1 μm e máxima de 2 μm (micrômetros), conforme descrito no item 7.3.

6.2 Requisitos para as condições operacionais

6.2.1 Manobra

Os elementos revestidos com DLC deverão ser capazes de suportar as vibrações e choques durante o transporte, manuseio e sua descida no poço (inclusive em poços desviados) tanto na instalação, e em casos específicos em que seja necessária a recuperação ou retirada do elemento (ver requisito de adesão no item 7.1).

6.2.2 Fluidos do poço

O elemento revestido 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 elemento revestido com DLC deverá suportar produção, injeção e contato prolongado com hidrocarbonetos nas fases líquida e gasosa, inclusive em operação de *gas lift.*

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 césio;
- 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 filme em DLC deve suportar contato direto e contínuo com os produtos químicos utilizados no SIQ de fundo a temperatura de 125ºC. A Tabela 6.2 mostra os produtos químicos tipicamente utilizados atualmente no SIQ.

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

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

6.2.3 Água da formação

O elemento revestido 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 7.7).

6.2.4 Produtos Químicos

O elemento revestido 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 7.7)

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 7.7)

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 elemento revestido com DLC deverá suportar o contato prolongado com os fluidos produzidos. Neste caso o fluido produzido pode conter até 85% de CO_2. O elemento também deve estar apto para contato prolongado com H_2S conforme ISO-15156.

6.2.6 Exigências Mecânicas

6.2.6.1 O tubo revestido internamente com DLC deve apresentar mesma resistência mecânica exigida dos tubulares conforme especificada na ET-3000.00-1210-210-PPQ-001 – Tubos, Conexões e Reduções para Revestimentos e Colunas de Produção, em sua última versão.

6.2.6.2 A ICV revestida com DLC deve apresentar mesma resistência mecânica exigida de ICVs conforme especificada na ET-3000.00-1210-276-PPQ-006 - Sistema de Completação Inteligente, em sua última versão.

6.2.7 Faixa Operacional de Temperatura

Resistência do tubo revestido internamente com DLC a temperaturas que variam de 4 a 125 ºC.

7. REQUISITOS PARA FILME 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 7.6) devem ser realizados antes e após os testes de compatibilidade química (item 7.7). 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

O revestimento em DLC deve proporcionar reduzida energia de superfície. Para tanto, o ângulo de contato entre a superfície do tubo ou do componente da ICV revestido em DLC e a gota de água destilada com corante em um meio constituído de óleo mineral não deve ser inferior a 140º. Esta medida deve ser realizada usando uma câmera fotográfica de alta resolução e o tratamento de imagem deve ser feito com software dedicado. Devem ser realizadas medições do ângulo de contato esquerdo e a direita da gota de água nas duas extremidades do tubo e/ou componente da ICV. Ambas as medidas devem ser superiores a 140º.

7.3 Espessura média

Para a determinação da espessura média do revestimento em DLC, deve ser utilizado SEM – *Scanning Electronic Microscopy* em amostras preparadas metalograficamente. As evidências (registros fotográficos) devem ser disponibilizadas em relatório de qualificação.

7.4 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 $1x10^{-8}$ kg/kg. Para tanto, deve ser adotada a velocidade mínima de 4 m/s, concentração de 1,5% ± 0,5% de partículas de areia com tamanho médio de 150 μm. 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 10 h.

7.5 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 API RP 17U (Bend Test, Annex A). O teste deve ser realizado na temperatura de 90ºC considerando dobramento de no mínimo 6º/30m. O teste deverá ser repetido 4 vezes. Critérios de aceitação conforme descritos na norma.

7.6 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 0,5 e 5,0 μm.

7.7 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:

7.7.1 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 125ºC 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 aquoso para teste de compatibilidade química

Fluido	Concentração
Sódio (mg/L)	59.160 mg/l
Cálcio (mg/L)	8.160
Potássio (mg/L)	3.860
Estrôncio (mg/L)	3.260
Cloreto (mg/L)	123.995
Bicarbonato (mg/L)	274
Salinidade (mg/L NaCl)	204.600
pH	6

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 130º.

3. A variação na rugosidade média do material medida conforme item 7.6 deve ser no máximo de (± 20% do valor original).

7.7.2 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 nas temperaturas indicadas na tabela abaixo. 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	Temperatura
Ácido clorídrico	15 %	48 h	50°C
Ácido acético	10 %	72 h	80°C
Ácido fórmico	10 %	72 h	80°C
EDTA	10 %	48 h	80°C
DTPA	20 %	48 h	80°C
***Mud acid* (HCl / HF)**	13,5 % / 1,5 %	12 h	50°C
Xileno/ Diesel	50% / 50%	12 h	80°C

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 130º.
3. A variação na rugosidade do material medida conforme item 7.6 deve ser no máximo (± 20% do valor original).

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

Teste	Tipo de amostra	Dimensões	Norma
Adesão	Retirada do tubo ou equipamento	Conforme dimensão do porta amostra do equipamento	ASTM C1624-05
Ângulo de contato	Tubo ou equipamento	(2,5 x 2,5) cm	N/A
Compatibilidade química	Placas*	(2,5 x 2,5) cm	Ver item 7.7
Espessura média do revestimento	Retirada do tubo	Deve ser utilizado SEM	N/A

Resistência à Erosão	Placa protegida lateralmente	Conforme dimensão do porta amostra do equipamento	Ver item 7.4
Resistência ao Dobramento	Tubo*	Tubo inteiro	API RP 17U
Rugosidade	Placas*	(2,5 x 2,5) cm	ASME B46.1-2009

*Mesma liga metálica do tubo

8. DOCUMENTOS

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

8.1 Desenho esquemático da ICV indicando os componentes submetidos à aplicação do filme de DLC.

8.2 Desenhos das principais dimensões de cada componente das ICVs, em especial daqueles submetidos à aplicação do filme de DLC.

8.3 Manual de Boas Práticas, englobando compatibilidade química, limite térmico e todos os cuidados com manuseio, instalação e operação do sistema, incluindo as conexões;

8.4 Relatório da inspeção dimensional dos componentes da ICV submetidos à aplicação do filme de DLC.

8.5 Resultados dos testes funcionais e de estanqueidade da ICV após montagem com componentes submetidos à aplicação do filme de DLC, comprovando o atendimento aos critérios de aceitação e registrando eventuais desvios.

8.4 Relatórios de testes de qualificação.

8.4.1 A qualificação deverá conter pelo menos, sem estar limitada aos 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