

# Propriedades Mecânicas de Epóxis Utilizadas no Recobrimento Interno de Oleodutos e Gasodutos

Marysilvia Ferreira, Sérgio S. Camargo Jr., Bruno M. Barbosa, Ricardo V. B. Gomes  
COPPE, UFRJ

Marly G. Lachtermacher, Joaquim Quintela  
CENPES, Petrobrás

**Resumo:** Propriedades mecânicas de recobrimentos a base de epóxi para aplicação *in situ* em dutos de transporte na indústria petrolífera foram avaliadas. Os recobrimentos foram aplicados sobre substratos de aço carbono submetidos a dois diferentes padrões de tratamento superficial (ST3 e SA2½) e avaliou-se a influência do mesmo em propriedades tais como adesão, impacto, dureza e desgaste do material. Observou-se que a falha de adesão ocorre por diferentes mecanismos dependendo do material do recobrimento e da preparação da superfície. Desgaste ocorre basicamente por mecanismo abrasivo embora se tenha observado desgaste adesivo significativo em alguns casos, dependendo do material e do padrão de tratamento da superfície. Resultados de microdureza indicaram, como esperado, ser esta uma propriedade inerente ao material, não sendo afetada pelo padrão de limpeza da superfície

**Palavras-chave:** *Epóxi, recobrimento, dutos de transporte, propriedades mecânicas.*

## Mechanical Properties of Epoxy for Internal Coatings of Pipelines

**Abstract:** Mechanical properties of epoxy based coating materials suitable for *in-situ* internal application in gas/oil pipelines were studied. Coatings were applied on carbon steel substrates submitted to two different surface preparation procedures (ST3 and SA2½) and the effect from surface treatment on coating adhesion, impact, hardness and wear was evaluated. It was found that adhesion failure occurs through distinct mechanisms depending on coating material and surface preparation. Wear occurs mostly by abrasive mechanism, although adhesive wear was found to be significant in some cases also depending on material and surface. Microhardness, as expected, was found to be a coating property not unaffected by surface treatment.

**Keywords:** *Epoxy, coating, pipeline, mechanical properties.*

## Introdução

A estrutura brasileira de abastecimento de petróleo, gás e derivados, interligando as fontes de produção, refinarias e centros de consumo, baseia-se principalmente na malha dutoviária do país. A extensão total desta malha ao final de 1997, incluindo oleodutos, polidutos e gasodutos, era de cerca de 12.000 Km, recentemente aumentada sensivelmente com a inauguração do gasoduto Brasil/Bolívia. Toda esta malha é até o momento atual operada pela Petrobrás, sendo que uma parcela altamente signifi-

cativa (77 %) de sua extensão é constituída por dutos com mais de 10 anos de operação<sup>[1]</sup>.

Estudos realizados pela Petrobrás têm mostrado que os dutos de transporte em atividade no país apresentam sérios problemas de corrosão interna e formação de depósitos, tanto orgânicos como inorgânicos. A extensão e gravidade destes problemas estão relacionadas ao tipo de produto transportado, condições de operação e localização, implicando em manutenção periódica dos mesmos e causando sérios prejuízos, tanto do ponto de vista do processo em si, como pela necessidade de interrupção de atividade.

**Autor para correspondência:** Marysilvia Ferreira, COPPE/UFRJ, C. P. 68505, CEP: 21975-970, Rio de Janeiro, RJ. E-mail: mari@metalmat.ufrj.br

Embora os procedimentos para inibir processos corrosivos sejam amplamente utilizados, têm-se observado em alguns casos, que os processos convencionais não são suficientes para prolongar a vida útil do tubo. Além disto, o atrito do produto transportado com as paredes internas dos dutos leva a necessidade de um grande número de estações de bombeamento, resultando na elevação do custo operacional dos mesmos<sup>[2,3]</sup>.

A utilização de recobrimentos internos em dutos reduz consideravelmente a rugosidade da superfície interna, com efeitos benéficos de redução de atrito e da formação de depósitos. Por exemplo, para um tubo comercial uma redução de 90% na rugosidade da superfície pode ser obtida, reduzindo a fricção em 33 %. O aumento máximo no fator de transmissão é 22 %. Uma redução de 33 % no fator de fricção irá resultar numa redução de 8 % no diâmetro do tubo em sistemas de gás e líquido. Na prática, a faixa real de aumento da vazão é 5-10 % apesar de se ter observado um aumento por volta de 25 % em tubos de pequenos diâmetros. A redução do coeficiente de atrito é maior para os tubos de menor diâmetro e maiores números de Reynolds. Para sistemas líquidos o benefício econômico da redução de atrito é maior para os tubos de menor diâmetro, enquanto que para gases os benefícios são maiores para os dutos de maior diâmetro. Para dadas condições os benefícios são maiores no caso de gases do que no de líquidos. Análise econômica mostra que em ambos os casos o custo do recobrimento interno dos dutos se justifica pela redução dos custos de operação<sup>[4]</sup>.

Embora o recobrimento interno de dutos de transporte seja um procedimento rotineiramente adotado em outros países, é ainda incipiente no Brasil. A primeira experiência brasileira foi a utilização de pintura interna em alguns trechos do gasoduto Brasil-Bolívia, sendo que os tubos foram pintados ainda na fábrica. A tecnologia de recuperação de dutos em operação nunca foi empregada no Brasil. O sucesso de tal empreendimento depende da eficiência do processo de limpeza e recuperação da superfície, do material a ser empregado, bem como do procedimento de aplicação. O custo envolvido, embora muito inferior ao da construção de uma nova tubulação, é elevado e portanto, antes da simples aplicação de uma tecnologia já existente, é importante avaliar a eficiência do processo a ser empregado, bem como o material mais adequado para este tipo de aplicação dentro

das condições de operação do duto. A utilização de revestimentos internos adequados aos diferentes tipos de produtos transportados pode levar a uma minimização dos problemas específicos existentes, com diminuição da formação de depósitos, corrosão interna e aumento de fluxo, garantindo a qualidade do produto transportado, a integridade dos dutos, aumento de sua vida útil e a diminuição dos custos envolvidos.

O desempenho de um recobrimento depende das características mecânicas do material, bem como da integridade do sistema recobrimento/substrato. Em primeiro lugar, a espessura do recobrimento deve garantir a cobertura de qualquer irregularidade da superfície com completa proteção do substrato. A adesão é fundamental para que a função de proteção seja plenamente alcançada. No caso de ocorrência de falha neste quesito, o conhecimento do mecanismo pelo qual esta se dá é importante para se determinar a viabilidade da utilização do recobrimento. Falha adesiva ocorre em duas situações: quando a tinta é inteiramente destacada do substrato ou quando alguma tinta ainda fica aderida. O primeiro é o caso menos desejável por causar exposição do substrato ao meio. Falha coesiva ocorre quando o revestimento não é destacado do substrato, com o rompimento ocorrendo dentro da própria camada de tinta. Neste caso, embora a espessura da camada seja reduzida, o substrato continua protegido<sup>[5]</sup>.

Perda de massa durante operação devido a desgaste também leva à diminuição da espessura do recobrimento e eventual exposição do substrato. O desgaste é normalmente um processo lento, porém contínuo e pode ocorrer por diversos mecanismos. No caso de dutos de transporte, o recobrimento fica exposto ao produto transportado e suas impurezas sólidas, que podem gerar mecanismos de desgaste bastante complexos<sup>[6]</sup>.

Neste trabalho estudou-se as propriedades mecânicas de tintas à base de epóxi disponíveis no mercado para utilização no processo de aplicação *in-situ* em oleodutos e gasodutos, objetivando a avaliação de seu desempenho como recobrimento interno.

## Experimental

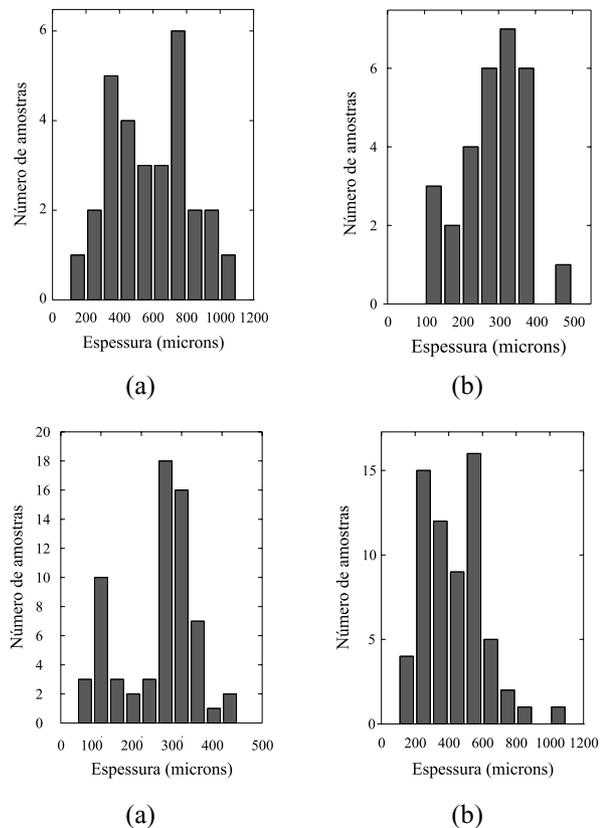
Foram selecionadas três tintas epóxi disponíveis no mercado, específicas para aplicação *in-situ*, sendo uma delas epóxi bi-componente livre de solvente

(tinta SS) e duas com solvente, porém com alto teor de sólidos (tintas CS1 e CS2). Uma quarta tinta sem formulação (SF) foi testada em paralelo, como referência. Todas as tintas foram aplicadas com pincel ou extensor, de acordo com suas características, sobre placas de aço carbono cujas superfícies foram previamente preparadas segundo os padrões de tratamento mecânico ST3 e de jateamento abrasivo úmido SA2½, da norma SIS 055900 com superfície seca. A espessura dos recobrimentos foi determinada por um equipamento Fischerscope, módulo de indução magnética. A adesão dos filmes ao substrato foi medida pelo teste de aderência à tração (*pull-off test*), segundo a norma ASTM D-4541 apêndice 2, utilizando-se um equipamento Patti da Elcometer. Os testes de impacto foram realizados em um equipamento montado segundo a norma APIN RP 5L7 apêndice 14. A dureza dos filmes foi avaliada por meio de testes de micro-dureza Vickers, realizando-se cerca de 30 indentações por amostra, utilizando-se carga de 50 gramas. As indentações foram medidas em microscópio ótico e um valor médio de dureza determinado para cada material. Os testes de desgaste foram realizados em um equipamento Taber segundo a norma API RP 5L7 apêndice 8. Utilizou-se abrasivos CS10 (gradação *mild*) e carga de 1kg. A cada 300 ciclos realizou-se inspeção por microscopia ótica de forma a observar o mecanismo de desgaste.

## Resultados e Discussão

### Espessura

A Figura 1 mostra os histogramas relativos à distribuição de espessuras das amostras testados (Figura 1(a) - SS, 1(b) - CS1, 1(c) - CS2 e 1(d) - SF). Nos casos das tintas CS1 e CS2 pode-se observar um grande número de valores de espessura da ordem de 300 µm, valor este normalmente indicado como ótimo para utilização de tais recobrimentos. No caso das tintas SS e SF observou-se uma maior distribuição de espessuras, com máximos em torno de 300 µm e em valores mais altos, na faixa de 500 a 800 µm, aproximadamente. Como o controle de espessura em um processo de aplicação *in situ* não garante uniformidade, principalmente em processos de recuperação onde o substrato está sujeito a alterações de superfície com presença de depressões, *pits* e etc., que podem favorecer o acúmulo de material protetor, as



**Figura 1.** Distribuição das espessuras das amostras utilizadas neste trabalho: a) SS, b) CS1, c) CS2 d) SF.

amostras de espessuras maiores foram também avaliadas.

### Adesão

Qualquer que seja a finalidade do recobrimento, este deve formar com o substrato um conjunto solidário que se mantenha íntegro por toda a vida útil do sistema. Desta forma, a avaliação da integridade física é fator fundamental e precede qualquer outra forma de caracterização. A preparação da superfície é parâmetro fundamental para maximizar a aderência e portanto, a obtenção de condições próximas às do padrão SA2½, no processo de limpeza da superfície, é altamente desejável. No entanto, sabe-se que isto nem sempre é possível de ser obtido, em especial na aplicação *in situ* em dutos que já se encontram em operação há muitos anos. Desta forma, os resultados de aderência sobre substratos preparados em condições menos vantajosas, no caso o padrão ST3, são extremamente valiosos para se avaliar o desempenho de cada tipo de tinta em uma situação menos favorável e mais realista.

A Tabela 1 mostra os valores médios de adesão

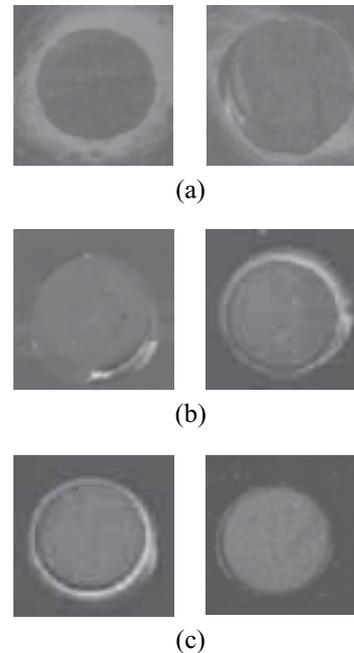
**Tabela 1.** Valores médios de aderência à tração (em psi), obtidos para as tintas aplicadas sobre substratos submetidos a tratamento superficial SA2½ e ST3.

Tinta	Adesão (psi)	
	SA2½	ST3
SF	2100	1160 ± 223
SS	2117	2044 ± 133
CS1	2175	1944 ± 232
CS2	2175	1450 ± 434

obtidos para as diferentes tintas aplicadas sobre substratos submetidos aos dois tipos de tratamento superficial.

Após a realização dos testes, a região responsável pela falha de adesão foi avaliada por meio de investigação microscópica. Observou-se que no caso do preparo de superfície SA2½ as tintas apresentaram comportamentos equivalentes com excelentes valores de adesividade. Os valores apresentados na Tabela 1 indicam o limite de resolução do equipamento para o ensaio, ou seja, o valor designa na verdade a energia de adesão entre o adesivo e o pino de teste e não entre o recobrimento substrato. Desta forma a energia de adesão recobrimento-substrato é superior ao valor apresentado na Tabela. Para as superfícies que sofreram tratamento ST3, os valores de adesão são de forma geral, mais baixos. No caso da tinta SF a falha predominante é do tipo adesiva, em praticamente 100% da área ensaiada, como mostrado na figura 2a. A tinta SS apresenta diferentes percentuais de falha adesiva/coesiva e valores de adesão bastante altos. Comparativamente às outras tintas, esta foi a que apresentou o maior valor médio de adesão. A tinta CS1, por outro lado, apresentou o mecanismo de falha coesiva em todos os testes realizados, com o valor de adesão que também pode ser considerado bastante alto (figura 2b). Finalmente, no caso da tinta CS2 observou-se, de forma semelhante ao da tinta SS, um percentual variável de falha adesiva (figura 2c) com, no entanto, um valor médio de aderência cerca de 25% abaixo daquela tinta. As fotos referentes ao ensaio da tinta SS não estão mostrados devido a falta de contraste, visto que a tinta tem coloração branca.

Dos resultados acima pode-se depreender que as tintas SS, CS1 e CS2 apresentaram desempenhos bastante bons, no que concerne à adesão na superfície de chapas de aço com acabamento superficial ST3. Os

**Figura 2.** Resultados dos ensaios de adesão realizados sobre as tintas SF (a), CS1 (b) e CS2 (c).

diferentes percentuais de falha adesiva/coesiva, a ligeira variação observada no valor médio da adesão das diferentes tintas e as variações observadas de amostra para amostra recobertas com um mesmo tipo de tinta, podem ser atribuídos à pouca uniformidade e reprodutibilidade deste tipo de acabamento superficial. Há que se considerar ainda na interpretação destes resultados, que o acabamento superficial ST3 representa uma condição bastante desfavorável para a aplicação de recobrimentos epóxi, inferior ao esperado na aplicação *in situ*. A tinta SF, por outro lado, se distingue das demais por um baixo valor de adesão e um mecanismo de falha quase que exclusivamente adesivo, indesejado para o tipo de aplicação pretendida.

### Impacto

Testes de impacto foram realizados de acordo com a metodologia indicada na norma: cada amostra foi submetida a 10 impactos de energia crescente, iniciando-se com 1 J até 10 J, em intervalos de 1 J. As marcas resultantes dos impactos realizados com cargas crescentes, podem ser vistas ao redor das amostras em sentido horário, iniciando no canto inferior esquerdo.

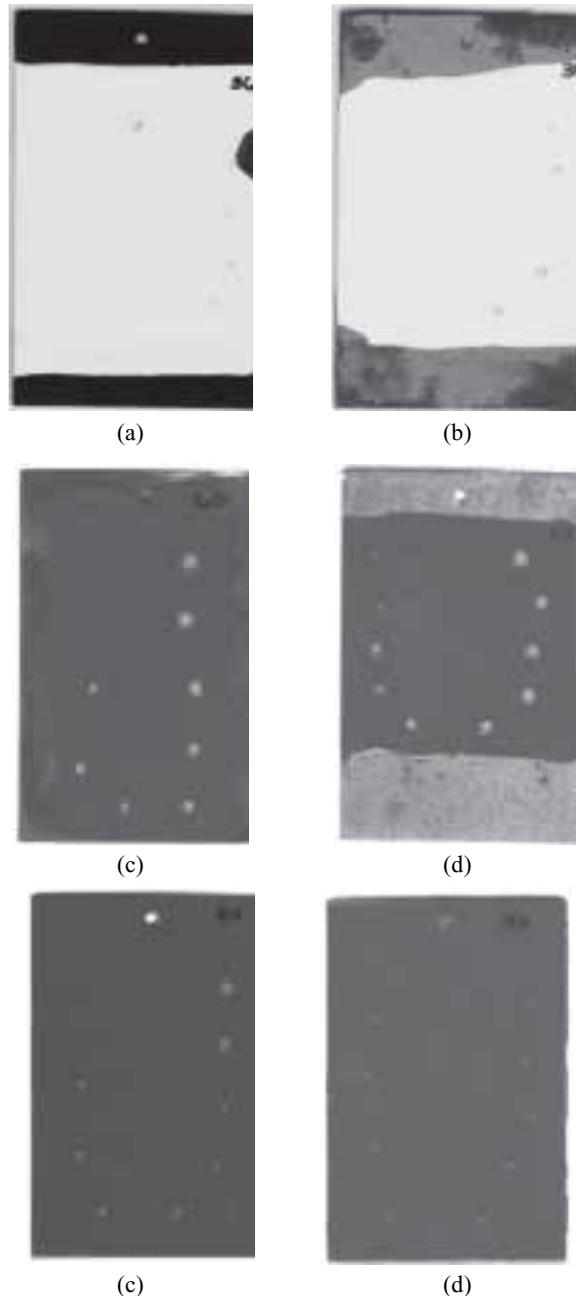
A inspeção das marcas resultantes foi realizada visualmente, por meio de lupa e de microscópio ótico – com aumentos 50X e 100X – com o objetivo de

avaliar o processo de deformação e/ou fratura dos revestimentos, bem como a possível exposição do substrato. Desta forma pôde-se obter informações a respeito da resistência mecânica ao impacto do material utilizado no revestimento.

Os resultados típicos dos testes de impacto realizados nas amostras das diferentes procedências estão apresentados na Figura 3. Conforme pode-se observar, as tintas SS, CS1 e CS2 apresentaram excelentes resultados quando submetidas a impactos de até 10J, tanto nas amostras aplicadas sobre substratos com tratamento superficial SA2½ quanto ST3, sem diferença perceptível. Deve-se observar, no entanto, que as marcas de impacto sobre as amostras CS2 são pouco visíveis devido à pequena espessura do recobrimento. No caso das amostras CS1 e SS estas marcas são mais visíveis, embora as tintas ainda resistam excepcionalmente bem aos impactos. Em todos os três casos, as cargas críticas médias para exposição do substrato se situam na faixa de 3 a 5 J. De acordo com a norma API RP5L7 a exposição do substrato não deve ocorrer para cargas inferiores a 1,7J.

No caso das amostras SS foram observadas algumas fraturas tipicamente frágeis, conforme pode-se observar no canto superior direito da Figura 3a, e que está mostrada em detalhe na Figura 4. Este tipo de comportamento pode estar relacionado a um conjunto de fatores desfavoráveis tais como; espessura do recobrimento, tratamento superficial ST3, maior grau de fragilidade do material e alta energia do impacto. No entanto, a correlação entre estas propriedades e sua influência sobre as propriedades mecânicas deste tipo de tinta ainda requer uma investigação mais detalhada

Os recobrimentos obtidos com a tinta SF constituem-se em uma exceção ao comportamento descrito acima, pois não foram obtidos bons resultados no que concerne a resistência a impacto. Embora os recobrimentos aplicados sobre substratos submetidos a tratamento superficial SA2½ resistam praticamente sem dano a impactos de até 10J em alguns casos, o desempenho dos recobrimentos aplicados sobre substrato submetidos a tratamento ST3 é bastante inferior. Este resultado é coerente com o resultado observado nas medidas de adesão, onde obteve-se um desempenho pouco satisfatório os recobrimento SF aplicados sobre substratos com este tipo de tratamento superficial.

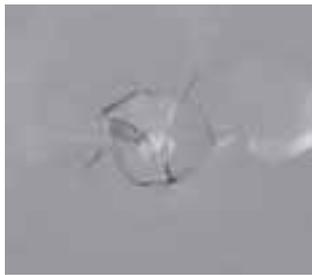


**Figura 3.** Resultados dos testes de impacto para as amostras SS (a, b), CS1 (c, d) e CS2 (e, f), com tratamento superficial ST3 (coluna da esquerda) e SA2 ½ (coluna da direita). As cargas (em Joules) utilizadas em cada impacto variaram de 1 a 10 a contar do canto superior esquerdo das amostras

Na figura 5 apresenta-se o resultado obtido com o impacto com uma carga de 3 J em uma amostra recoberta com tinta SF sobre substrato ST3. O resultado mostra uma fratura extensa com o descolamento do recobrimento e ampla exposição do substrato. O mesmo tipo de comportamento ocorreu em diversas outras situações com diferentes combinações de carga e espessura de filme, demonstrando não ser este



**Figura 4.** Detalhe da fratura obtida sob impacto de uma carga de 9 J em amostra recoberta com tinta SS sobre substrato com tratamento superficial ST3. A espessura do recobrimento desta amostra é de cerca de aproximadamente 800  $\mu\text{m}$ .



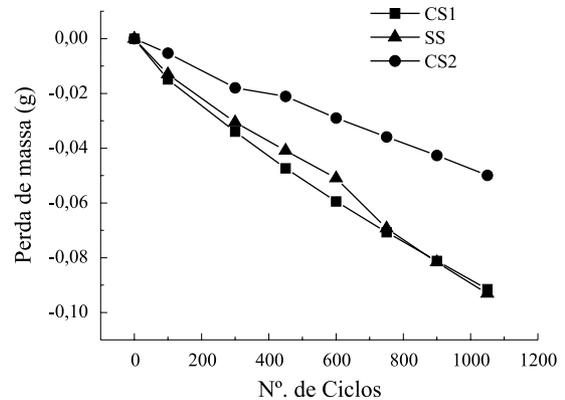
**Figura 5.** Detalhe de uma fratura obtida sob impacto de uma carga de 3 J em amostra recoberta com tinta SF sobre substrato com tratamento superficial ST3. A espessura do recobrimento desta amostra é de cerca de 300  $\mu\text{m}$ .

um fenômeno isolado. Desta forma, pode-se concluir que o recobrimento com tinta SF não é adequado a situações em que as condições do substrato sejam desfavoráveis e exista a possibilidade de impacto ou outro tipo de esforço mecânico sobre o recobrimento.

### Desgaste

Os resultados obtidos para a perda de massa nos ensaios de desgaste estão mostrados nos gráficos da Figura 6. Pode-se observar que o recobrimento CS2 perde menos massa que os outros indicando que este possui uma maior resistência à abrasão. Na Tabela 2 estão apresentados os valores obtidos para a taxa de desgaste. Estes dados estão discriminados de acordo com o tipo de tratamento de superfície empregado no substrato.

Conforme pode-se observar, no caso das tintas SS, CS1 e CS2, a taxa de desgaste não depende de forma apreciável do tipo de tratamento superficial empregado. No caso dos recobrimentos SS a taxa de desgaste da amostra SA2½ é um pouco menor do que a da ST3. Este fato parece ser coerente com a observação do mecanismo de desgaste adesivo nas amostras testadas, uma vez que a aderência dos recobrimentos



**Figura 6.** Perda de massa resultante dos ensaios de desgaste para os cupons das três diferentes procedências: SS (triângulo), CS1 (quadrado) e CS2 (círculo). A carga utilizada nestes ensaios foi de 1Kg.

**Tabela 2.** Valores obtidos para a taxa de desgaste das amostras das diferentes procedências de acordo com o tipo de preparação superficial empregado no substrato.

Procedência	Taxa de desgaste (mg/100 ciclos)	
	SA2½	ST3
SF	7,4	—
SS	8,3	10,6
CS1	11	10,7
CS2	10,5	8,0

sobre o substrato tratado segundo o padrão SA2½ é maior que no caso do ST3. No entanto, no caso das amostras CS2, o comportamento é justamente o inverso, enquanto que para a tinta CS1 não se observa diferença relevante. Assim sendo, pode-se sugerir que as pequenas diferenças entre as taxas de desgaste apresentadas na tabela são devidas a outros fatores que não o tratamento superficial empregado no substrato. A tinta SF, por outro lado, apresenta uma taxa de desgaste ligeiramente inferior à das outras três. Este fato pode estar relacionado à maior dureza destes recobrimentos em relação aos outros, conforme será apresentado abaixo, o que contribuiria para uma redução do mecanismo de desgaste abrasivo. Entretanto, faz-se ainda necessário um estudo mais detalhado, de forma a quantificar as contribuições dos diferentes mecanismos de desgaste, para melhor avaliar o processo e entender os mecanismos atuantes.

### Dureza Superficial

A Tabela 3 apresenta os valores médios de dureza superficial Vickers para as 4 diferentes tintas.

As tintas CS1 e CS2 apresentaram valores de

**Tabela 3.** Valores obtidos para a micro-dureza Vickers das amostras das diferentes procedências.

Tinta	Micro-dureza Vickers (Hv)
SF	24, 6 ± 2,2
SS	14,0 ± 1,5
CS1	16,3 ± 2,0
CS2	16,4 ± 2,1

**Figura 7.** Indentação Vickers realizada sobre amostras SF, demonstrando o aparecimento de trincas.

dureza praticamente idênticos, compatíveis com o de tinta epóxi plenamente curada. A tinta SF possui um valor de dureza bastante mais alto. Uma particularidade observada com relação as indentações realizadas sobre as amostras SF é o fato de que um exame cuidadoso ao microscópio ótico evidencia o aparecimento de pequenas trincas como ilustrado na Figura 7. Isto indica que as propriedades mecânicas deste tipo de recobrimento não são muito adequadas ao tipo de aplicação pretendida, apesar de sua dureza ser bastante alta, pois demonstram um alto grau de fragilidade. Este resultado está de acordo com resultados obtidos previamente em testes de impacto<sup>[7]</sup>. Nas demais tintas este comportamento não foi observado.

Adicionalmente, foi possível concluir a partir destas medidas que, conforme esperado, não há influência do tratamento superficial do substrato sobre a dureza superficial da tinta.

## Conclusões

Os diferentes recobrimentos de tintas epóxi analisados neste trabalho apresentaram propriedades distintas. Os testes empregados foram capazes de distinguir entre as diferentes tintas, como observado nas Tabelas 1, 2, 3.

A obtenção de valores altos de adesão, com mecanismos de falha no adesivo para todas as tintas aplicadas sobre substratos preparados segundo o padrão SA2½, mostram que, sem sombra de dúvida, o estado da superfície é a característica mais importante para o sucesso do recobrimento. Uma vez garantida uma boa limpeza superficial e um alto grau de ancoramento mecânico, o bom desempenho do recobrimento estará praticamente assegurado.

Todos os recobrimentos testados, com exceção da tinta SF, apresentaram resultados altamente positivos de aderência sobre substratos ST3, sendo que em alguns casos os valores de adesão obtidos são tão altos quanto no caso SA2½, embora os mecanismos de falha sejam distintos. Quando se comparam os diferentes tipos de tinta ou diferentes amostras de uma mesma tinta, verifica-se uma dispersão de valores de aderência e que os mecanismos de falha apresentam variados graus de falha adesiva/coesiva. Acredita-se que esta dispersão se deve principalmente às condições de preparação dos substratos em padrão ST3 e não a uma clara vantagem ou desvantagem de um recobrimento em relação ao outro.

As medidas de dureza superficial permitiram determinar uma faixa esperada para esta propriedade, para tintas epóxi completamente curadas. Desta forma, é possível verificar problemas de cura incompleta das tintas, quando esta propriedade se situa abaixo desta faixa, e identificar as tintas de dureza extremamente alta mas de características frágeis, como a tinta SF, onde esta propriedade se situa acima da faixa desejada. Um exame minucioso das figuras de indentação permitiram ainda observar os mecanismos de fratura nas bordas da indentação, confirmando, no caso da tinta SF, tratar-se de um material de características demasiadamente frágeis.

Os testes de desgaste mostraram que as tintas SS, CS1 e CS2 são equivalentes neste aspecto, apresentando resistências semelhantes. Foram identificados os mecanismos de desgaste abrasivo e adesivo em diferentes proporções, em todos os corpos de prova testados. A tinta SF, por outro lado, apresentou uma resistência ao desgaste superior às demais, devido provavelmente à sua alta dureza que contribui para reduzir a taxa de desgaste abrasivo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FINEP/CTPetro e CNPq pelo auxílio financeiro.

### Referências Bibliográficas

1. Fonte: Sistema de Informações Econômico-Energéticas /Organização Latino Americana de Energia.
2. Ferreira, M.; Camargo Jr., S. S.; Silva, R. L. G. - in Anais do 2°. Seminário Brasileiro de Dutos, Rio de Janeiro, (1999).
3. Camargo Jr., S. S.; Ferreira, M.; Lachtermacher, M.; Quintela, J. - in Abstracts of the International Pipeline Conference IPC2000, Calgary, Canadá, (2000).
4. Singh, G. & Samdal, O. R. - Internal coating justified by operational costs, Oil and Gas Journal, pp. 50-55, abril, (1988).
5. Pulker, H. K. - *Coatings on Glass*, Elsevier Science, Amsterdam, (1984).
6. Bhushan, B.; Gupta, B. K. - *Handbook of Tribology - Materials, Coatings and Surface Treatments*, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, (1997).
7. Ferreira, M.; Camargo Jr., S. S.; Barbosa, B. R. M.; Gomes, R. V. B.; Lachetermacher, M. G.; Quintela, J. - in Anais do 3°. Seminário Brasileiro de Dutos, Rio de Janeiro, (2001).

*Recebido: 10/08/01*  
*Aprovado: 20/06/02*