

**UNESP**

**Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá**

**Revestimento interno de tubulação por um processo de centrifugação utilizando resina éster-vinílica com adição de cargas**

**Guaratinguetá**

**2012**

SÉRGIO RODRIGUES PYLES

Revestimento interno de tubulação por um processo de  
centrifugação utilizando resina éster-vinílica com adição de  
cargas

Trabalho de Graduação do curso  
de Engenharia Mecânica,  
realizado junto ao Departamento  
de Energia da Faculdade de  
Engenharia do Campus de  
Guaratinguetá, Universidade  
Estadual Paulista.

Orientador : Prof. Dr. Luiz Roberto Carrocci

Guaratinguetá

2012

Pyles, Sérgio Rodrigues  
P996 Revestimento interno de tubulação por um processo de centrifugação  
utilizando resina éster-vinílica com adição de cargas / Sérgio Rodrigues  
Pyles – Guaratinguetá : [s.n], 2012.  
39 f : il.  
Bibliografia: f. 37-39

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade  
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Carrocci

1. Tubulações 2. Centrifugação I. Título

CDU 621.643

**UNESP UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

**Revestimento interno de tubulação por um processo de centrifugação  
utilizando resina éster-vinílica com adição de cargas**


**SÉRGIO RODRIGUES PYLES**

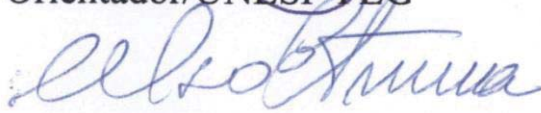
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**“GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. WAGNER FORTI  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Professor Dr. LUIZ ROBERTO CARROCCI  
Orientador/UNESP-FEG

  
Professor Dr. CELSO EDUARDO TUNA  
UNESP-FEG

  
Professora Dra. ELIANA VIEIRA CANETTIERI

Dezembro de 2012

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a memória de meu pai  
José Sérgio Pyles, o qual sempre me inspirou a  
fazer o que é certo e me proporcionou uma vida  
maravilhosa, meu herói, companheiro e  
exemplo de vida.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família e amigos, que sempre estão ao meu lado e me dão forças e vontade para superar todos e quaisquer obstáculos que a vida oferece.

ao meus pai *José Sérgio Pyles* pela educação, carinho e esforço para poder me privar ao máximo das dificuldades e infelicidades da vida.

às mulheres da minha vida, *Wilma Rodrigues Pyles*, *Júlia Rodrigues Pyles* e *Valentina Pyles Derrico*, por dar sentido à minha vida e me fazer querer ser uma pessoa melhor todos os dias.

aos meus tios *Carlos Alberto Cicchi* e *Nancy Pyles Cicchi* por todo apoio e suporte que sempre me proporcionaram.

ao meu orientador, *Prof. Dr. Luiz Roberto Carrocci* que me apoiou e me aconselhou muito em um período complicado durante a faculdade.

a todos funcionários, técnicos e professores do departamento de energia e mecânica que de alguma forma me ajudaram na elaboração desse trabalho.

aos meus amigos e amigas verdadeiros e todos aqueles que de algum modo me ajudaram ou me ensinaram alguma coisa, agradeço a todos.

“Quem, de três milênios,  
Não é capaz de se dar conta  
Vive na ignorância, na sombra,  
À mercê dos dias do tempo.”

Johann Wolfgang Von Goethe

PYLES, Sérgio Rodrigues. **Revestimento interno de tubulação por um processo de centrifugação utilizando resina éster-vinílica com adição de cargas.** Guaratinguetá: Trabalho de Graduação 2012. 37 p.

## RESUMO

Sendo a corrosão um dos grandes problemas enfrentados pela indústria nos dias de hoje, mais especificamente a corrosão interna de tubulações nas indústrias químicas e petroquímicas, conseqüentemente esse trabalho vem propor um novo tipo de revestimento interno de tubulações com o objetivo de evitar a formação de incrustações e diminuir a perda de carga no escoamento. Para isso, iremos utilizar uma composição de resina éster-vinílica e cargas manométricas, que após a limpeza e o preparo da superfície interna do tubo, serão aplicadas através de um processo de centrifugação, adaptado através de um torno mecânico. Após a cura da resina, será realizado um ensaio de rugosidade com o objetivo de analisarmos a redução do fator de atrito e assim poder concluir se houve uma diminuição significativa na perda de carga. Com os resultados dos testes em mãos, esperamos obter um revestimento que atenda a maioria das propriedades exigidas pela indústria e que apresente uma redução nos custos de operação e uma visível melhoria nas condições de uso da tubulação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Revestimento interno, tubulação, resina éster-vinílica, centrifugação.

PYLES, Sérgio Rodrigues. **Internal coating of pipes by a process of centrifugation using vinyl ester resin with addition of fillers.** Guaratinguetá: Trabalho de Graduação 2012. 37 p.

### **ABSTRACT**

Being the corrosion one of the great problems facing the industry today, specifically the internal corrosion of pipes in chemical and petrochemical industries, hence this work proposes a new type of internal coating in order to avoid fouling and decrease the pressure loss in the flow. For this, we use a composition of vinyl ester resins and manometric loads, which after cleaning and preparation of the internal surface of the tube will be applied through a process of centrifugation, adjusted by a lathe. After curing the resin, a test of roughness will be realized in order to analyze the reduction of friction factor and thus be able to conclude whether there was a significant decrease in pressure drop. With test results in hand, we hope to obtain a coating that meets most of the properties required by the industry and to provide a reduction in operating costs and a visible improvement in the conditions of use of the pipe.

**KEYWORDS:** *Internal coating, pipe, vinyl ester resin, centrifugation.*

## SUMÁRIO

<b>PRÉ-TEXTO</b> .....	3
Dedicatória .....	3
Agradecimentos.....	4
Epígrafe.....	5
Resumo .....	6
Abstract .....	7
Sumário.....	8
<b>TEXTO</b> .....	10
1 INTRODUÇÃO .....	10
1.1 Motivação.....	10
1.2 Objetivos .....	10
1.3 Histórico Tubulações Brasileiras .....	11
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	13
2.1 Tipos de Revestimentos.....	13
2.2 Catalisadores e Aceleradores.....	14
2.3 Resina éster-vinílica .....	15
2.4 Resina éster-vinílica X Resina epóxi .....	18
2.5 Nanocargas: Rutilo, Ilmenita e Zircônia.....	18
2.6 Recobrimento interno de tubulações.....	20
2.7 Centrifugação.....	22
2.8 Parâmetros de rugosidade.....	23
3 REFERÊNCIAS NO MERCADO.....	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
4.1 Materiais utilizados.....	26
4.2 Método de aplicação do revestimento.....	26
4.3 Ensaio de Rugosidade.....	27

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
6 CONCLUSÃO.....	36
<b>PÓS-TEXTO.....</b>	<b>37</b>
REFERÊNCIAS.....	37
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	39

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 MOTIVAÇÃO

A corrosão sempre foi um visitante indesejado em plantas industriais e principalmente em tubulações, sendo responsável pelo rápido desgaste e posterior inutilização de componentes industriais. Estima-se que mais de 30% do aço produzido no mundo seja usado para reposição de peças e partes de equipamentos deteriorados pela corrosão (ÉSTER-VINÍLICAS: ALTAS TEMPERATURAS E ALONGAMENTO, 2010).

Em tubulações que transportam água, há o problema de incrustações nas paredes do tubo devido aos cristais que vão se alojando no aço, o que leva a um aumento na rugosidade do tubo e conseqüentemente a um grande aumento no consumo de energia, já que a perda de carga associada ao fator de atrito é diretamente proporcional à velocidade elevada ao quadrado dentro do tubo (FOX; MCDONALD; PRITCHARD, 2006).

O fenômeno da corrosão está presente na grande maioria das tubulações, o que traz um enorme prejuízo para as empresas. A diminuição da espessura da tubulação causada pela corrosão aumenta a pressão interna no material restante, o que pode levar a rupturas e vazamentos que causam um prejuízo exorbitante para a empresa e em muitos casos para o meio ambiente.

## 1.2 OBJETIVOS

Dada a motivação de nossa pesquisa, este trabalho vem propor um novo método de revestimento interno de tubulações aliado a um recobrimento inovador, composto

por resina éster-vinílica com a adição de diferentes cargas manométricas. Portanto, depois de estudado e efetivamente concluído na prática, este revestimento deverá garantir aos tubos maior durabilidade, maior resistência à corrosão e uma drástica queda na perda de carga do sistema, levando à uma redução nos custos operação e manutenção. Este recobrimento também deverá garantir a canalização do fluido, a qualidade e a originalidade do mesmo (PAM SAINT-GOBAN, 2011).

### 1.3 HISTÓRICO DAS TUBULAÇÕES BRASILEIRAS

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 duto viária do país. A extensão total desta malha ao final de 2007, incluindo oleodutos, polidutos e gasodutos, era de cerca de 20.000 km, enquanto outros países como EUA e Rússia possuem 440.000 e 330.000 km respectivamente. Do ponto de vista de custos, as despesas com transportes representam, em média, cerca de 60% das despesas logísticas, o que, em alguns casos, pode significar duas ou três vezes o lucro de uma companhia, como é o caso, por exemplo, do setor de distribuição de combustíveis (CASTRO, 2007). A maior parte desta malha é até o momento atual operada pela Petrobrás, sendo que uma parcela altamente significativa (77 %) de sua extensão é constituída por dutos com mais de 10 anos de operação.

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. 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.

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 (GOMES; CAMARGO, 2003).

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 TIPOS DE REVESTIMENTOS

O maior problema presente no emprego de tubulações, principalmente aquelas feitas de aço carbono, é a corrosão. A corrosão de tubos pode tanto ser externa devido à exposição atmosférica (ferrugem) ou devido ao meio no qual ela está enterrada ou submersa. Outro problema enfrentado pelas tubulações é a corrosão interna, que é o foco principal do trabalho. Para Gentil (2007) os revestimentos aplicados no interior de tubos de aço podem ter as seguintes finalidades:

- Revestimentos anticorrosivos, ou para evitar a contaminação do fluido contido.

- Revestimentos antiabrasivos e ante-erosivos.

- Revestimentos refratários (isolamento térmico interno).

Qualquer desses revestimentos pode ser empregado por uma ou mais das seguintes razões:

- Custo.

- Resistência mecânica.

- Possibilidade de fabricação.

- Necessidade de resistência química e/ou diminuir a perda de carga da tubulação.

É grande a variedade de materiais de revestimento disponíveis no mercado e a grande maioria é empregada após a fabricação do tubo, com exceção do zinco (galvanização) que é aplicado no decorrer da fabricação do tubo. Este revestimento, apesar de ter um custo baixo e ampla disponibilidade, só pode ser utilizado em serviços de baixa resistência e corrosão moderada (água, água salgada, ar comprimido) pelo fato de não permitir ligações soldadas entre os tubos.

Os materiais mais usados para revestimento interno de tubos se dividem em:

- Zinco.

- Materiais plásticos.
- Elastômeros (borrachas), ebonite.
- Asfalto, esmaltes asfálticos.
- Concretos.
- Vidros, porcelanas.

O revestimento de tubos com materiais plásticos são geralmente empregados quando não é possível o uso de tubos de plástico maciço, devido ao diâmetro, à pressão, ou às condições de segurança exigidas para a tubulação. Esses revestimentos são facilmente aplicáveis em tubos com diâmetros de 80 mm ou maiores, sendo, entretanto em geral possível a sua aplicação para diâmetros menores a partir de 12 mm. Os principais materiais plásticos utilizados para revestimentos de tubos de aço são o epóxi, os fenólicos e os poliuretanos.

Para todos os serviços corrosivos é muito importante que o revestimento protetor seja perfeito e contínuo, isto é, não apresente defeitos locais (falhas, bolhas, arranhões e etc...) bem como cubra, de forma contínua, toda a superfície metálica exposta ao fluido corrosivo. Um pequeno defeito ou descontinuidade poderá causar um ponto de corrosão localizada, que poderá causar a perfuração da parede metálica do tubo mais rapidamente do que a corrosão generalizada caso o tubo não tivesse nenhum tipo de revestimento. Com os revestimentos de concreto é impossível garantir essa perfeição, e por esse motivo não se recomendam esse revestimento para serviços severos, apesar do baixo custo e boa resistência à corrosão (TELLES, 1987).

## 2.2 CATALISADORES E ACELERADORES

Para que o processo de endurecimento de uma resina (cura) seja realizado com sucesso, devemos ficar atentos à proporção correta de catalisadores e aceleradores que adicionamos na composição. Um dos processos mais utilizados e considerado o melhor sistema universal para cura rápida à frio, é o de se usar o catalisador Metil Etil

Cetona (MEKP) e sais de Cobalto como aceleradores (sistema MEKP – cobalto). A proporção ideal normalmente é informada pelo próprio fornecedor da resina, mas é algo em torno de 50 a 300 ppm para o cobalto e de 5.000 a 10.000 ppm para o MEKP (MATHEUS, 2002).

### 2.3 RESINA ÉSTER-VINÍLICA

Para o nosso projeto, utilizaremos um revestimento de resinas éster-vinílicas compostas, ou seja, adicionaremos tipos variados de cargas para conferir propriedades adequadas para o tipo de aplicação que se deseja. Entre as resinas que mais se destacaram em termos de resistência a produtos químicos, as éster-vinílicas, também chamadas de epóxi éster-vinílicas ou vinil ésteres, ocupam um lugar privilegiado. De grande versatilidade, as resinas éster-vinílicas caracterizam-se por conjugar, num só produto, elevada resistência a altas temperaturas e alongamento diferenciado que se deve ao fato de que as ligações cruzadas formadas durante a cura localizam-se somente na molécula, o que deixa toda sua estrutura sob tensão. Derivadas do epóxi, que lhe confere a cadeia molecular central – bem mais extensa que a das resinas poliésteres comuns -, as resinas éster-vinílicas apresentam ligações éster apenas nas extremidades da cadeia, o que confere a elas maior alongamento, ao passo que o desenho das ligações lhes atribui resistência mecânica aprimorada e ótima resistência a altas temperaturas, além de conseguirem englobar em uma única molécula duas propriedades importantes: alta temperatura de distorção térmica (HDT) e alto alongamento de ruptura (Tg). Outra propriedade importante dessa resina é a adesão, que lhes é conferida devido à presença de grupos livres de hidroxila (ÉSTER-VINÍLICAS: ALTAS TEMPERATURAS E ALONGAMENTO, 2010).

Existem dois tipos principais de resinas éster-vinílicas que se destacam no mercado: as resinas com base em bisfenol A e as resinas com base em bisfenol F, também chamadas de novolac. É consensual no mercado que a grande maioria das aplicações das resinas éster-vinílicas é derivada do bisfenol A, devido a vários motivos

dos quais de destaca a abrangência de suas propriedades, que atendem a diferentes tipos de ambientes tais como ácidos, alcalinos, solventes leves, e alguns meios oxidantes.

No mercado de corrosão, os principais clientes das resinas éster-vinílicas são fabricantes de tubos, tanques, tubulações e aplicações diversas para indústrias como cloro-soda, papel, açúcar assim para a indústria química e petroquímica. Em todos esses mercados, são também importantes os prestadores de serviços, que fazem trabalhos de revestimentos dos mais variados e em 90% dos casos as exigências são atendidas por resinas éster-vinílicas de bisfenol A que cumprem com a exigência da norma ASTM C581.

Em linhas gerais, quando as exigências anticorrosivas e contra a temperatura são superiores, entram em cena as resinas bisfenol F ou novolac. Essas resinas são indicadas para aplicações bem específicas em que a temperatura de trabalho supera, no mínimo, 120°C, alcançando em determinadas situações até 200°C. A estrutura das resinas novolac é mais compacta, gerando maior agrupamento de molécula por meio de crosslinks (ligações cruzadas) muito mais densos. Essa estrutura mais fechada gera maior estabilidade térmica, o que torna a resina mais resistente, por exemplo, a solventes (ÉSTER-VINÍLICAS: ALTAS TEMPERATURAS E ALONGAMENTO, 2010).

Para nosso trabalho, obtivemos no mercado a resina éster-vinílica da empresa Cray Valley, mais especificamente da linha EPOVIA. Esta linha de resinas éster-vinílicas de alto desempenho, são utilizadas onde haja contato direto e permanente com altas temperaturas e ambientes agressivos para evitar corrosão, erosão, trincas, deformações, problemas causados pelo aquecimento, variações de temperatura, acidez, entre outros danos. Peças como tanques de armazenagem de vários setores, tubulações, dutos de gases e vapores, segmento de construção para suporte de cargas, entre outros. Proporciona maior vida útil de equipamentos industriais e estruturas, adiando a necessidade de reparos ou substituições (CRAY VALLEY, 2012).

Tabela 01 : Propriedades da Resina líquida EPOVIA RF - 1001 DMV.

Viscosidade Brookfield a 25 °C	ASTM D - 2196	(cP)	350 - 550
Gel Time a 25°C *	ASTM D - 2471	Min	20,0 - 30,0
Gel Time a 25°C **	ASTM D - 2471	Min	08,0 - 12,0
Intervalo Simples	ASTM D - 2471	Min	05,0 - 15,0
Pico Exotérmico	ASTM D - 2471	° C	120 - 160
Índice de Acidez	ASTM D - 1639	(mg KOH/g)	5 máximo
Teor de Sólidos	ASTM D - 1259	%	60 - 64
Densidade a 25°C	ASTM D - 1475	g/cm <sup>3</sup>	1,12 - 1,14*
Dureza Barcol após 24 horas	ASTM D - 2583	-	38

Fonte: Cray Valley (2012)

### Sistema Catalítico:

\* 100g de resina com 0,5% de Cobalto 6%, 0,02% DMA e 1,5% de MEK-P.

\*\* 100g de resina com 0,15% de DMA e 2% de BPO.

## 2.4 RESINA ÉSTER-VINÍLICA X RESINA EPÓXI

Mas e quando nós nos perguntamos, porque não escolher logo pelas resinas epóxi, cujo radical proporciona tão boas propriedades às resinas éster-vinílicas? Acontece que as resinas epóxi são difíceis e muito custosas de se processar, e esse fato criou para as resinas éster-vinílicas um nicho de mercado excepcional, nicho que vem sendo aproveitado pelos fabricantes de resinas e transformadores desde os anos 50 quando estas foram sintetizadas pela primeira vez.

Tradicionalmente utilizadas no mercado de corrosão, as resinas éster-vinílicas podem abarcar novos mercados, como por exemplo, o de pás para energia eólicas e o de tubulações para mercado de óleo e gás. Em reuniões da ISO 14692, estas resinas estão sendo discutidas para aplicação no mercado de óleo e gás e em muitas outras áreas industriais. Ou seja, já está na norma, sendo que para efetivamente a usarem serão necessários, é claro, muitos ensaios. (ÉSTER-VINÍLICAS: ALTAS TEMPERATURAS E ALONGAMENTO, 2010).

## 2.5 NANOCARGAS: RUTILO, ILMENITA, ZIRCÔNIA.

Na elaboração de revestimentos e tintas, muitas cargas são utilizadas para conferir as mais diversas propriedades a estes materiais, tais como óxido de titânios, pigmentos metálicos e sais nas mais diversas concentrações. De acordo com El-Wahab et al. (2009), a composição e a concentração das cargas utilizadas tem ampla influência nas características do produto final. O estudo também analisou as propriedades de uma resina com adição de cristais de ilmenita e concluiu que este material apresentou valores maiores de resistência ao impacto e resistência à corrosão do que à resina pura.

Cerâmicas a base de Zircônia possuem uma importância tecnológica na área de

revestimentos de barreira térmica, em ambientes com elevadas temperaturas, além de possuir uma elevada resistência ao impacto (KOHR; YANG, 1997). Na mesma linha de raciocínio, Chwa (2001) em um estudo sobre a reflexão de raios laser em superfícies rugosas, concluiu que adição de zircônia em um revestimento formado por resina à base de Bisfenol – A reduz consideravelmente a rugosidade e torna o produto final mais resistente.

Grãos de Rutilo tem sido amplamente utilizados na indústria de tintas, plásticos e papel, com o objetivo de conferir ao material alta brancura, insolubilidade em meios alcalinos, brilho elevado e também por ser um material agregador facilitando sua mistura com as resinas e outras substâncias presentes nas tintas (ZHANG et al., 2010).

Portanto, para o presente estudo, iremos adicionar rutilo, zircônia e ilmenita à resina éster-vinílica com o objetivo de observar a influência desses compostos na rugosidade superficial do revestimento e observar as propriedades que eles podem conferir ao material, conforme vemos na figura 01.

<b>ILMENITA (titanato de ferro)</b>	<b>RUTILO (dióxido de titânio)</b>	<b>ZIRCONITA (silicato de zircônio)</b>
Matéria-prima para obtenção de: » dióxido de titânio (pigmento branco) » ligas de ferro titânio  Agente aditivo em: » composição de abrasivos » fabricação de esmaltes matizados » cargas de altos fornos, para melhorar o fluxo metálico e proteger o revestimento refratário » revestimento de eletrodos utilizados em solda elétrica.  Aspecto - grânulos de cor preta	Componentes de: » revestimento de eletrodos utilizado em solda elétrica » ligas de ferro titânio » Agente aditivo na colorização e matização de materiais cerâmicos (vidros, ladrilhos e louças de mesa).  Aspecto - grânulos de cor preta-avermelhada	Matéria-prima para a fabricação de: » tintas de faceamento para fornos e moldes » opacificante para cerâmica industrial e louças » pigmentos para esmalte porcelanizado » isoladores térmicos e elétricos » refratários à base de zircônio » cimento refratário  Aspecto - grânulos de cor bege

Fonte : Instituto Nuclear Brasileiro (2012)

Figura 01 – Propriedades dos minérios Rutilo, Ilmenita e Zirconita

## 2.6 RECOBRIMENTO INTERNO DE TUBULAÇÕES

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 (SINGH; SAMDAL, 1988).

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.

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 (GENTIL 2007).

Um artigo publicado pelo Instituto de pesquisa de tecnologia da engenharia de Tianjin, na China, mostrou que o uso de revestimentos internos de resina epóxi diminui em até 25% no fator de atrito de um tubo de 1 metro de diâmetro com número de Reynolds da ordem de  $4,32 \times 10^7$ , para isso foram utilizados tubos de gás natural e os pesquisadores puderam calcular o coeficiente de fluxo de gás através da equação de Colebrook-White e comparar com a teoria, concluindo assim que a equação de Colebrook-White está disponível para avaliação de revestimentos de tubos de epóxi e outras resinas como as éster-vinílicas (YANG et al, 2005)

Outro estudo realizado pela UFRJ em 2001, demonstrou as propriedades mecânicas de uma resina epóxi aplicadas em revestimento interno de oleodutos e gasodutos. 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 e que uma vez garantida uma boa limpeza superficial e um alto grau de ancoramento mecânico, o bom desempenho do recobrimento estará praticamente assegurado. 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 (FERREIRA et al., 2002).

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 revestimento fica exposto ao produto transportado e suas impurezas sólidas, que podem gerar mecanismos de desgaste bastante complexos.

## 2.7 CENTRIFUGAÇÃO

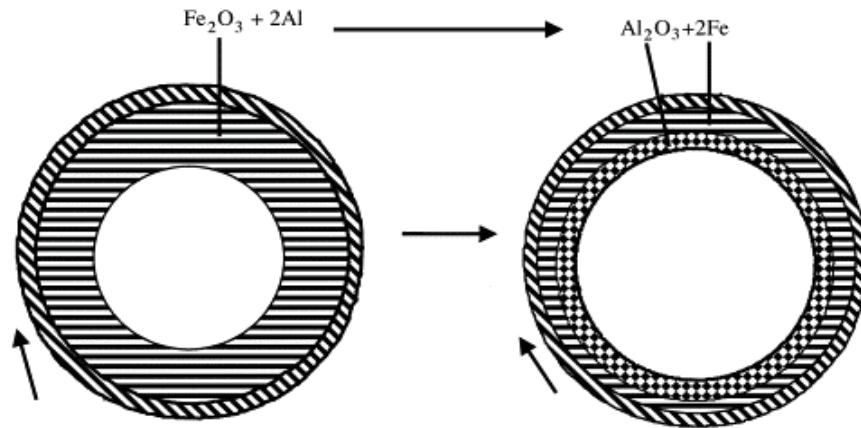
O método escolhido para espalhar o revestimento no tubo foi o de centrifugação pois quando observamos outras utilidades da técnica, como na separação das plaquetas do sangue, na pigmentação de tintas, percebemos que a força centrífuga age de maneira a homogeneizar o fluido em questão, o que seria perfeito para nos proporcionar um revestimento uniforme e sem grandes descontinuidades.

A técnica de centrifugação para revestimento de tubulações já foi estudada em alguns países com resultados satisfatórios. Na China, estudou-se o método de centrifugar um material cerâmico condutor de eletricidade, liberando uma descarga elétrica no momento que o tubo começou a girar com o objetivo de agrupar os grãos e garantir uma boa aderência e boa resistência mecânica. Os resultados mostraram que a força centrípeta agiu de maneira uniforme tanto no sentido radial quando no axial, conforme mostra a figura 02, e que a velocidade de rotação influencia diretamente no resultado de acordo com a relação:

$$G = r_0 \times (2\pi n)^2 / g$$

Onde:  $r_0$  = raio interno do tubo;  
 $n$  = velocidade de rotação;  
 $g$  = aceleração da gravidade;

Para o parâmetro  $G$ , o estudo concluiu que a faixa mais adequada está entre os valores de 150 à 250, já que para velocidades menores a homogeneidade não foi satisfatória e para valores maiores houve problemas com a aderência do substrato. (HUA; CHENG; LIANBO, 1999).



Fonte: Hua; Cheng; Lianbo (1999)

Figura 02: Distribuição uniforme de material cerâmico por um processo de centrifugação

## 2.8 PARÂMETROS DE RUGOSIDADE

O Parâmetro mais usado para indicações de rugosidade e é o valor que utilizamos para efetuar cálculos de perda de carga e fator de atrito. Este método consiste em se traçar uma linha pelo perfil de rugosidade obtido, de tal forma que a soma das áreas cheias acima da linha seja igual a soma das áreas cheias abaixo da linha.

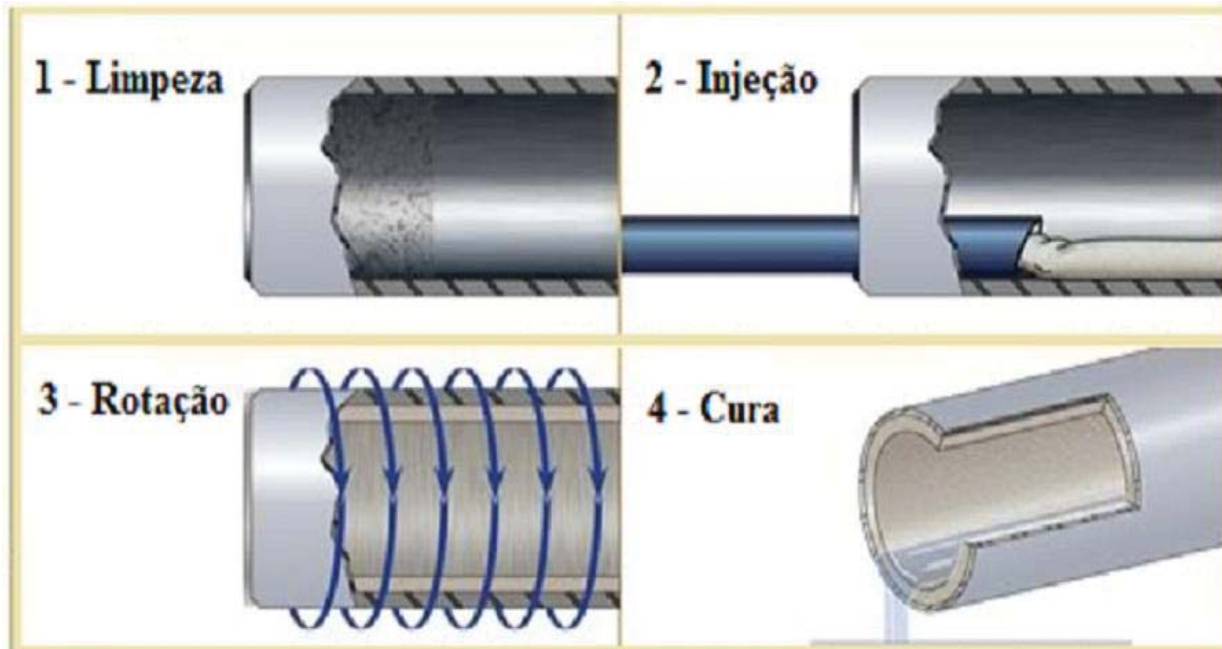
Quando queremos especificar ainda mais a medição da rugosidade, podemos lançar mão do parâmetro rugosidade total, que é dada pela diferença entre o pico mais alto e a depressão mais baixa no comprimento considerado. Pode ser um bom indicador da ocorrência de falhas no processo de fabricação.

## 3 REFERÊNCIAS NO MERCADO

Nos dias de hoje, muitas empresas de grande porte estão no mercado de revestimento de tubulações. Os revestimentos de tubulações começaram a ganhar mais ênfase durante o grande salto tecnológico das duas grandes guerras mundiais. Segundo

Mattiello (1946), foi nesse período que nasceram muitas empresas que hoje são referências no setor, e foi nos anos 50 que as resinas a base de polímeros foram apresentadas ao mercado mundial e desde então muito se investiu em pesquisas de novos métodos de revestimento e materiais alternativos.

A empresa BrederoShaw remota da década de 30, e hoje em dia é líder mundial no desenvolvimento e fabricação de soluções de tubulações e revestimentos. A empresa conta com processo denominado “*Centrifugally Applied Cement Mortar Lining*” (CML) no qual o revestimento é aplicado através de um sistema denominado centrifugação contínua de argamassa de cimento *portland* denso com acabamento liso e uniforme. Este produto é recomendado para proteção anti-corrosão de tubulares petrolíferas e tubos, mas não é recomendado para situações onde o Ph do fluido é inferior a 6 (ácido). A seguir vemos na figura 03 uma síntese do processo utilizado (BREDERO SHAW, 2011).



Fonte: brederoshaw (S/D)

Figura 03 - Processo CML desenvolvido pela empresa BrederoShaw

Outra empresa americana que é referência no setor de revestimentos de tubos é a *IntraCoat Pipeline Services* (IPS) que faz uso de um processo único para revestimento interno de tubos, no qual a tubulação é limpa e recoberta por epóxi no próprio local (tecnologia “*insitu*” ou “*in-place*”), apenas com a restrição de os tubos terem pelo menos 4 polegadas de diâmetro (INTRACOAT PIPELINE SERVICES, 2011).

A empresa indiana, BlastLine Índia, atualmente fornece equipamentos avançados para revestimento interno de tubulações. Essas máquinas são projetadas para serem puxadas manualmente sobre o tubo sem a necessidade de girar, enquanto uma turbina alimenta o spray de alta pressão que vai despejando o revestimento pela ação da força centrípeta ao longo do tubo (BLASTLINE INDIA, 2011).



Fonte: Blastline India (2011)

Fig.04 – Dispositivo “cone oco” para revestimentos por spray para tubos de 3 à 5 polegadas de diâmetro



Fonte: Blastline Índia (2011)

Fig. 05 – Dispositivo revestimento interno IPC 900 para tubos com 12 a 36 polegadas de diâmetro

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados no experimento foram comprados no mercado com o auxílio da empresa Jomari Piscinas Ltda. O procedimento experimental foi baseado nos conceitos teóricos apresentados acima e na experiência de se trabalhar com este tipo de material por mais de três anos.

### 4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

1. Resina éster-vinílica EPOVIA RF1001DMV;
2. Catalisadores e aceleradores, MEKP e Cobalto;
3. Seringas descartáveis para medição das quantidades e proporções;
4. Cargas: Rutilo, Zircônia e Ilmenita;
5. Tubos de aço com costura de 2 polegadas e 10 cm de comprimento;
6. Torno mecânico para fixação e rotação do tubo;

7. Tampas de madeira para vedar o tubo;
8. Lixas adequadas para limpeza e preparo da superfície interna do tubo;
9. Dispositivos para ensaio de rugosidade.

#### 4.2 MÉTODO DE APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO

1. Efetuar a limpeza do tubo, removendo as impurezas oriundas do processo de fabricação, através do lixamento mecânico e uso de solventes industriais;
2. Acoplar o tubo ao eixo de um torno mecânico e apoiá-lo no contraponto para diminuir as vibrações;
3. Preparar o revestimento com a resina EPOVIA RF – 1001 DMV e misturá-la com as cargas selecionadas;
4. Acelerar a mistura adicionando o cobalto e posteriormente o MEKP para o início da catalisação;
5. Inserir a quantidade calculada de revestimento (10 ml) na amostra, visando obter uma espessura pré-determinada;
6. Tampar as extremidades do tubo e fixá-las com firmeza;
7. Ligar o motor e colocar a amostra para girar por aproximadamente 10 minutos na rotação de 450 rpm;
8. Desligar o motor, retirar as tampas, aguardar o tempo de cura de aproximadamente 2 dias para efetuar o ensaio de rugosidade.

#### 4.3 ENSAIO DE RUGOSIDADE

O ensaio seguiu a norma ABNT NBR 6405/1988 e foi realizado com o rugosímetro calibrado com 2.95  $\mu\text{m}$ . O local onde o ensaio foi realizado foi no departamento de engenharia mecânica da UNESP – Campus de Guaratinguetá, com o auxílio de um técnico especializado. Para o ensaio, foram tomadas 3 medidas de cada

parâmetro (rugosidade média e rugosidade total) para cada amostra e então se obteve uma média ponderada.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Depois de reunidas todas as informações e materiais necessários, o trabalho de revestir internamente as amostras de tubo de aço foi iniciado e assim obtivemos quatro amostras distintas, todas com aproximadamente a mesma espessura (cerca de 1mm). O tempo no qual o torno permaneceu girando para que a resina aderisse às paredes do tubo foi de aproximadamente 10 minutos para cada amostra e a temperatura ambiente era de aproximadamente 26 °C.

Conforme esperávamos, o revestimento aderiu às paredes do tubo de uma maneira homogênea, confirmando a teoria enfatizada no texto sobre a ação da força centrípeta em um processo de centrifugação. A seguir podemos visualizar na figura 06 um quadro com as fotos e a composição de cada amostra após a aplicação do revestimento.



Figura 06 : Amostras obtidas no experimento

As figuras 07, 08, 09, 10, 11, 12 e 13 apresentam os tubos com os revestimentos já aplicados.



Figura 07: Amostra 1, resina pura



Figura 08 : Amostra 2, resina com rutilo



Figura 09 : Amostra 3 , resina com ilmenita

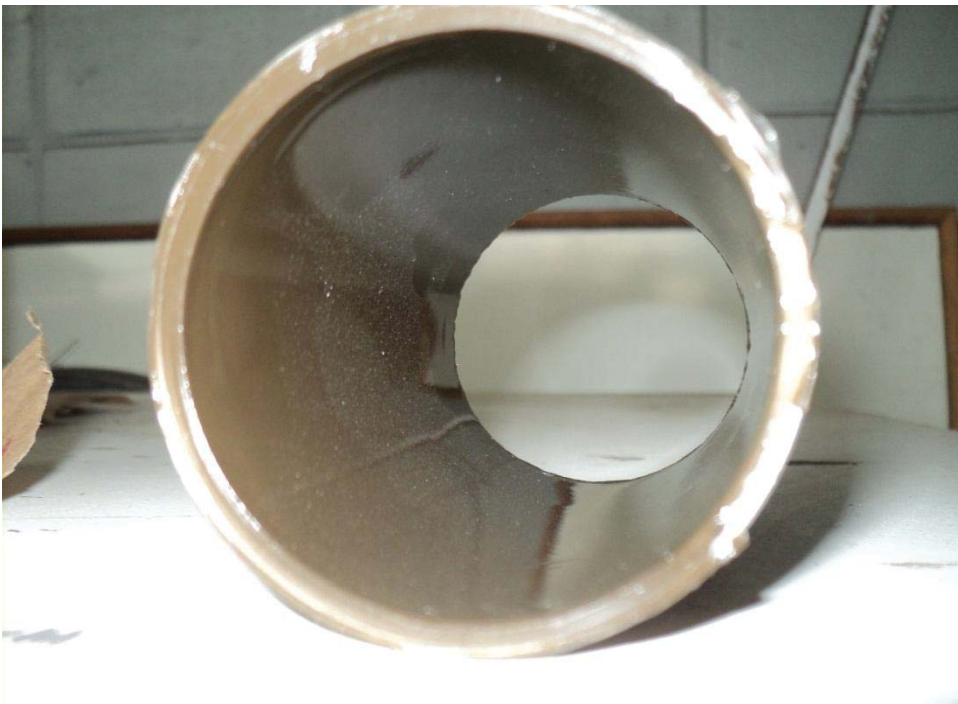


Figura 10 : Amostra 4 , resina com zircônia



Figura 11 : Vista lateral amostras 1 e 2



Figura 12 : Da esquerda para direita, amostra 2, amostra 1, amostra 4, amostra 3



Figura 13 : Vista lateral das amostras

A tabela 02 apresenta os resultados de rugosidade das amostras 1, 2, 3,4 e do tubo limpo mas sem nenhum revestimento aplicado.

Tabela 02: Dados do ensaio de rugosidade superficial

	Rugosidade média (Ra $\mu\text{m}$ )	Rugosidade total (Rt $\mu\text{m}$ )
Tubo s/ revestimento	5.31 $\mu\text{m}$	38.20 $\mu\text{m}$
Amostra 1	0.60 $\mu\text{m}$	06.10 $\mu\text{m}$
Amostra 2	0.46 $\mu\text{m}$	12.70 $\mu\text{m}$
Amostra 3	0.16 $\mu\text{m}$	08.60 $\mu\text{m}$
Amostra 4	0.31 $\mu\text{m}$	02.75 $\mu\text{m}$

Podemos observar na tabela acima que a rugosidade superficial do tubo

diminuiu drasticamente, na faixa de 10 a 15 vezes, e que essa redução irá ocasionar uma redução grande no fator de atrito de um sistema de tubulação que utilize este revestimento. Conforme vimos na seção 2.6, os autores Singh e Samdal (1988) afirmaram que tanto para tubos de pequeno diâmetro quanto para tubos de grande diâmetro a utilização de recobrimentos internos que ocasionem uma grande redução do fator de atrito se justifica pela redução dos custos de operação e que podemos obter reduções de diâmetros de até 8% e um aumento na vazão de até 25%.

Outro fato importante foi que a variação na rugosidade média das amostras com revestimento foi bem pequena, porém observamos que as amostras que continham alguma das cargas apresentaram um valor menor. No caso da amostra 4, com adição de zircônia, o ensaio mostrou que não houve nenhum pico de rugosidade elevado, tornando o revestimento muito homogêneo e confirmando o estudo de Chwa (2001) sobre o impacto da adição de zircônia em resinas, que pode garantir uma maior aglomeração dos átomos ligantes e tornar o revestimento mais uniforme. Porém, ao observarmos apenas os valores de rugosidade média, a amostra 03 que continha ilmenita, apresentou um resultado melhor em relação às demais, podendo indicar que essa carga seria a mais indicada quando desejamos obter reduções com a perda de carga na tubulação.

O custo da resina Epovia RF-1001 DMV, segundo a empresa fabricante Cray Valley (2010) é de 15,00 R\$/quilograma e esta quantidade é suficiente para revestir aproximadamente 1,5 m<sup>2</sup> de um tubo com uma espessura do revestimento de 1 mm, valor bem abaixo da maioria das outras resinas utilizadas no mercado.

Por outro lado, apesar do custo da resina ser baixo, será necessário um grande investimento para se criar um dispositivo que consiga realizar a centrifugação de tubos de diferentes diâmetros e comprimentos e em larga escala. Para tubos longos, o grande problema seria encontrar uma maneira de evitar as vibrações durante o processo que podem ocasionar uma má distribuição do revestimento e eventualmente causar danos ao tubo. Uma solução possível seria adotar o uso de roletes que serviriam

como um suporte, dando liberdade ao tubo para se movimentar apenas na direção horizontal.

No projeto desse dispositivo, devemos planejar também um sistema automatizado de injeção do material, para que possamos rapidamente catalisar a resina e inseri-la no tubo, respeitando os tempos catalíticos

## 6 CONCLUSÕES

- Sistema ágil de revestimentos em larga escala, já que o processo de centrifugação leva cerca de 10 minutos;
- O processo de centrifugação foi apto a distribuir a resina de maneira homogênea durante toda a extensão do tubo;
- Versatilidade para se revestir tubulações com as mais variadas resinas e suas composições;
- A redução da rugosidade superficial numa escala de até 15 vezes com certeza justifica o uso desse revestimento no quesito custos de operação, sendo que podemos obter redução nos diâmetros projetados e um aumento na vazão de até 25%;
- O projeto de um sistema de revestimento por centrifugação deve ser analisado, levando em conta os problemas com vibrações, tempos catalíticos, variações do diâmetro e comprimento dos tubos;
- Outra possibilidade é de aliar o processo de centrifugação com um processo de cura à quente ou de pintura eletrostática, que pode garantir ainda mais a aderência e homogeneidade do revestimento final;
- Conclui-se também que a variação na rugosidade superficial média não foi significativa para as diferentes cargas, apenas a amostra 4 que continha zircônia apresentou uma uniformidade maior que as demais, o que indica a confirmação do estudo de Chwa (2001);

## REFERÊNCIAS

BLASTLINE INDIA. **Internal Pipe Coating Equipment**. Disponível em: <[http://www.blastlineindia.com/php/product\\_details.php?pro\\_id=37&cat\\_id=4](http://www.blastlineindia.com/php/product_details.php?pro_id=37&cat_id=4)>. Acesso em: 17 mar. 2011.

BREDERO SHAW. **Centrifugally Applied Cement Mortar Lining**. Disponível em: <[http://www.brederoshaw.com/solutions/onshore/sureflo\\_cml.html](http://www.brederoshaw.com/solutions/onshore/sureflo_cml.html)>. Acesso em: 04 maio 2011.

CASTRO, Carlos Alberto Amaral de Sousa. **INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA: DUTOVIAS: PARTE 01**. São Paulo: Gpac, 2007.

CHWA, Sang Ok; OHMORI, Akira. **The influence of surface roughness of sprayed zirconia coatings on laser. Surface and coatings technology**. Japão, p.88-95. 06 jun. 2001.

CRAY VALLEY. **RESINAS**. Disponível em: <<http://www.crayvalley.com.br/produtos/resina/default.php>>. Acesso em: 10 set. 2012.

EL-WAHAB, H. Abd. et al. **New anticorrosive coating compositions incorporated ilmenite ore**. Progress in organic coatings. Egito, p.242-247. 28 jul. 2009.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. **Tubulações Industriais: materiais, projeto e desempenho**. 7. Ed revisada. Rio De Janeiro: Ltc, 1987.

ÉSTER-VINÍLICAS:ALTAS TEMPERATURAS E ALONGAMENTO **Compositos e Plásticos de Engenharia**, São Paulo, n. 72 , p.24-30, 15 set. 2010.

FERREIRA, M.; CAMARGO Jr., S.S.; BARBOSA, B.R.M.; GOMES, R.V.B.; LACHETERMACHER, M. G.; QUINTELA, J. – **Propriedades mecânicas de epóxis utilizadas no recobrimento interno de oleodutos e gasodutos**, Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 12, n. 3, Jul/Set 2002, p. 180-187.

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J.. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2006.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 5. ed. Rio De Janeiro: Ltc, 2007.

GOMES, Ricardo Vinícius B.; CAMARGO JUNIOR, Sérgio S.. **REPARO INTERNO “IN SITU” DE DUTOS POR REVESTIMENTOS**. In: 2º CONGRESSO

BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS, 2., 2003, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2003. p. 1 - 6.

HUA, Wu; CHENG, Liu; LIANBO, Wu. Technological design of metal/ceramic composite tubes. **Materials And Design**, China, v. 20, n. 5, p.229-232, 01 out. 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306999000229>>. Acesso em: 23 out. 2012.

INB - INDÚSTRIAS NUCLEARES BRASILEIRAS. **Ilmenita, Rutilo e Ziconita**. Disponível em: <[http://www.inb.gov.br/pt-br/webforms/Interna2.aspx?secao\\_id=63](http://www.inb.gov.br/pt-br/webforms/Interna2.aspx?secao_id=63)>. Acesso em: 10 ago. 2012

INTRACOAT PIPELINE SERVICES. **Cleaning And Coating Process**. Disponível em: <<http://www.intracoat.com/cleancoat.asp>>. Acesso em: 05 maio 2011.

KHOR, K.a.; YANG, J.. **Rapidly solidified neodymia-stabilised zirconia coatings prepared by DC plasma spraying**. Singapura: School of MPE, 1997.

MATHEUS, Marco Antônio. **FIBERGLASS: Aprenda fibra de vidro**. São Paulo: Livrostecnicos.com, 2002. 132 p.

MATTIELLO, J. J. .**“Protective and Decorative Coatings,”** Vol. V, Wiley, New York, 1946.

PAM SAINT-GOBAN, **.REVESTIMENTOS INTERNOS**. Disponível em: <<http://www.saint-gobain-canalizacao.com.br/manual/revint.asp>>. Acesso em: 14 mar. 2011.

Revista Composites e Plásticos de Engenharia, Éster-Vinílicas: Altas temperaturas e alongamento , p. 24-30.2010

SINGH, G. & SAMDAL, O.R. – *Internal coating justified by operation costs, Oil and Gas Journal*, pp. 50-55, abril, 1988.

ZHANG, Yunsheng. et al. **Evolution of zirconia coating layer on rutile TiO<sub>2</sub> surface and the pigmentary property**. Journal of physics and chemistry of solids. China, p.1458-1466. 14 jul. 2010.

**BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

LEIDHEISER JR, Henry. **Corrosion control by coatings**. 1<sup>a</sup> ed. Pennsylvania: Science Press, 1979.

PAYNE, Henry Fleming. **Organic Coating Technology**. 1<sup>a</sup>ed, Vol.1. New York: John Wiley & sons, 1965.