



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

I-009 - AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DO PVC DEFOFO RÍGIDO X PVC DEFOFO DÚCTIL: UMA ALTERNATIVA TAMBÉM NECESSÁRIA NO BRASIL

Raimunda Maria Pires⁽¹⁾

Engenheira Civil pela PUC-PR, trabalha na Companhia de Saneamento do Parana - Sanepar há 19 anos, atualmente é pesquisadora do Grupo Específico de Consultoria Intercâmbio e Pesquisa – GECIP, vinculado a Diretoria de Meio Ambiente e Ação Social – DMA..

Jorge Neves Moll⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo UFES, Mestre em Engenharia Sanitária pela Escola de Saúde Pública do Rio de Janeiro, consultor na área de tubulações plásticas, atualmente é gerente de infra-estrutura da Amanco Brasil S/A

Endereço ⁽¹⁾

Rua Engenheiros Rebouças 1376, Rebouças, Curitiba PR – Brasil - 80215 900

Fone: (41) 330 3299 - Fax: (41)333 9952 -



deapires@SANEPAR.com.br

RESUMO

Dentre os diversos programas para reduzir vazamentos, iniciou-se no âmbito da Sanepar o Projeto de Desenvolvimento Tecnológico de Tubulações Plásticas, onde partiu-se do pressuposto de que uma nova abordagem do problema se impunha. Dentre os problemas existentes, as áreas de manutenção e operação da SANEPAR destacam que os tubos de PVC DEFOFO (diâmetro externo equivalente ao ferro fundido) utilizados nas redes e adutoras apresentam de forma crônica rupturas do tipo frágil, mesmo sendo fabricados em acordo com a NBR 7665. Uma das ações que tem sido continuamente realizada na Sanepar é a pesquisa de vazamentos nas suas Redes de Distribuição de Água. Esta atividade, embora eficiente na detecção dos vazamentos e na rapidez de execução de seus consertos não leva a uma redução do índice de perdas aos níveis desejados porque os consertos e reparos tem sido realizados com o mesmo material original da rede. Ficou evidente a necessidade de se encontrar uma solução com novos materiais, ou um "up grade" dos existentes, visando evitar novos eventos de ruptura. Com visão sistêmica do problema de perdas fez-se diversas visitas a campo, no Estado do Paraná, e observou-se que o material não atendia ao desempenho esperado, mesmo atendendo às exigências das normas vigentes. Com a contratação de consultoria específica, trabalhou-se com resultados de pesquisas executadas na Inglaterra onde ocorreram situações semelhantes e pode-se inferir que os problemas na Europa tinham os mesmos sintomas e causas. Esta avaliação, baseada em pesquisas desenvolvidas na Europa e nas constatações de campo, com a finalidade de minimizar as rupturas direcionam as propostas no sentido de se introduzir alterações na atual norma brasileira, incorporando novos testes, adequando-a as normas internacionais, assim como recomendando melhorias no processo de assentamento dos tubos, bem como na capacitação de mão de obra.

PALAVRAS-CHAVE: PVC DEFOFO, PVC rígido, PVC dúctil, normas e PVC modificado.

1 INTRODUÇÃO

A medida em que as perdas de água representam grande impacto em custos financeiros, sociais e ambientais é necessário estar alerta às novas tecnologias desenvolvidas em caráter mundial e situações similares que ocorrem no Brasil, cujas soluções podem e devem ser aplicadas com o objetivo de contribuir diretamente na solução do problema,

objeto desta pesquisa.

A constatação em campo de que o PVC DEFOFO sofre fratura frágil, concorrendo para o maior índice de perdas nos sistemas de abastecimento, com redes executadas com este material, impulsionou o presente estudo no sentido de apresentar soluções para os problemas enfrentados pelas empresas de saneamento, com o objetivo de diminuir e se possível eliminar as perdas de água transportada, ocasionadas pela ruptura "tipo frágil" das tubulações. A figura 1 demonstra este tipo de ruptura, encontrada nos sistemas administrados pela Sanepar no Estado do Paraná.

Figura 1 : Ruptura "tipo frágil" em tubos de PVC DEFOFO rígido



Fonte: Sistemas de Abastecimento de Água de Curitiba- PR - Sanepar

Desde a década de 70 a questão das perdas nos sistemas de abastecimento de água tem sido uma das grandes preocupações em todos os setores ligados ao saneamento, tanto que hoje já se considera o índice de perdas como medida de eficiência de um sistema de água.

Uma das ações que tem sido continuamente realizada na SANEPAR é a pesquisa de vazamentos nas suas Redes de Distribuição de Água. Esta atividade, embora eficiente na detecção dos vazamentos e na rapidez de execução de seus consertos, não leva a uma redução do índice de perdas aos níveis desejados, mas permite identificar as constantes rupturas nos tubos de PVC DEFOFO.

Após muitos programas para reduzir os vazamentos, concluiu-se que uma nova abordagem do problema se impunha, sendo um deles o Projeto de Desenvolvimento Tecnológico de Tubulações Plásticas. O assunto PVC DEFOFO iniciou-se através pesquisa junto as áreas de operação, manutenção e projeto da Sanepar. Os relatórios encaminhados por estes setores a equipe responsável pelo projeto documentavam ocorrências de rupturas destes tubos e constituíram subsídios fundamentais para os resultados deste estudo. Concomitantemente foi feita a análise das normas e especificações vigente, bem como a contratação de consultoria especializada no assunto.

Outra vertente importante do estudo foi o acompanhamento das ocorrências constatadas em campo, a disponibilização de amostras para exame do fabricante e realização de ensaios pertinentes..

Como o enfoque deste projeto é de natureza tecnológica, cujo objetivo é o aperfeiçoamento de materiais visando a redução de perdas, houve uma aproximação entre da Sanepar e os maiores fabricantes do país, os quais mostraram-se dispostos a estudar soluções para o problema.

Em um dos estudos realizados, ou seja experiências internacionais, foi identificado que no início da década de 90, países como a Inglaterra, Austrália e África do Sul passaram a utilizar somente o PVC dúctil ou modificado. Este

material começou a ser utilizado para solucionar o mesmo tipo de problema que se enfrenta atualmente no Brasil.

2 DESENVOLVIMENTO

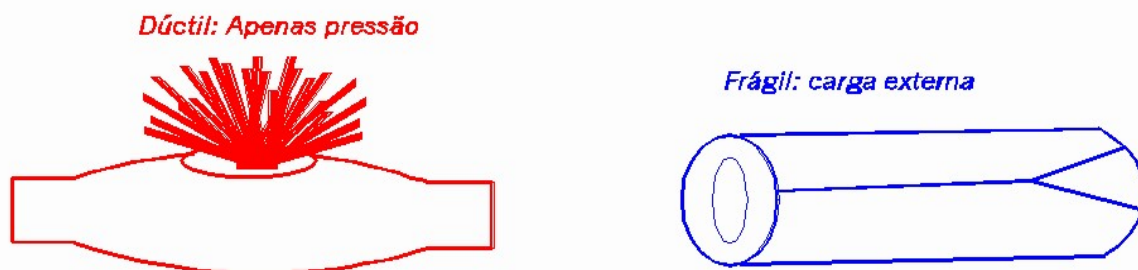
Para a consecução do objetivo proposto, foi analisada a norma vigente no Brasil - NBR 7665 - Sistema para adução e distribuição de água - Tubos de PVC 12 DEFOFO e a vigente na Inglaterra - BSI PAS 27 - *Unplasticized poly (vinyl chloride) alloy (PVC-A) pipes and bends for water under pressure..* Verificou-se, então que na Inglaterra já se contempla vários testes para melhoria da performance do tubo de PVC DEFOFO. Cabe destacar que alguns destes testes já estão contemplados nas normas ISO 4422-1 *Pipes and fittings made of unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC- U) for water supply-specifications Part 1: General* e ISO 4422-2-2 *Pipes and fittings made of unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U) for water supply Specifications Part 2:Pipes (with or without integral sockets).*

Materiais "fortes" não são necessariamente tenazes (*tough*) e em muitos casos podem ter comportamento frágil. O melhor exemplo é o vidro, que é extremamente resistente (forte) mas, pela simples introdução de um pequeno risco, defeito ou entalhe ele pode tornar-se muito quebradiço. Isto ocorre devido às altas tensões que são desenvolvidas na extremidade do risco, proporcionando o crescimento da fissura.

Em adição a necessidade de resistência, rigidez e deformabilidade dos tubos plásticos, uma característica importante é a tenacidade, (*toughness*) que aumenta a resistência do material à propagação do fissuramento. Isto é particularmente importante no caso do PVC-U, *Unplasticized polyvinylchloride* ou PVC não plastificado, que no Brasil é conhecido por PVC rígido, o qual pode apresentar ruptura do tipo frágil seguindo a propagação rápida da fissura na parede do tubo.

A falha frágil é caracterizada por trincas que iniciam e avançam lentamente através de um longo período de tempo. Quando ocasionada pelas cargas de reaterro (cargas pontuais) a trinca avança através da parede e após na direção axial. Se o material é de baixa propagação de fratura, os lábios de cisalhamento irão impedir a propagação da fratura. Já a ruptura dúctil ocorre quando o tubo está submetido a uma sobrepressão contínua e consiste em um aumentando diametral do mesmo que eventualmente tomará a forma de um balão e, após, sofrerá a ruptura. Esta forma de ruptura ocorre em testes preconizados na maioria das normas, mas raramente encontrado em serviço. A figura 2 ilustra estes dois tipos de falhas.

Figura 2 - Diferentes forma de falhas em tubulações



Fonte: os autores

A propriedade que em tubos de plástico é conhecida como "*Fracture Toughness*" é a capacidade do material plástico de resistir a propagação da fratura. Na indústria de água é inevitável que os tubos assentados estejam com sobrecargas, arranhados ou com riscos na superfície que atuam como tensões concentradas. Portanto, a característica requerida é de alta resistência à propagação da fratura ou que o material apresente escoamento e plasticidade para deformar e resistir ao fissuramento (rachadura).

Nas extremidades das trincas a concentração de tensão leva o material a escoar. Quanto menor a tensão de escoamento maior a zona plástica. É sempre vantajoso ter um material com uma tensão de escoamento baixa, o que permitirá gerar plasticidade em um nível de elongação inferior. As zonas plásticas absorvem energia e geralmente previnem a propagação lenta da fratura. Estas zonas também são responsáveis por transformar as trincas com formato agudo em abauladas, anulando, portanto, a concentração de tensão. A trinca passa a significar apenas uma redução de material na seção transversal. Um conceito de projeto inteligente.

A resistência é a capacidade do material de resistir as cargas de tração e compressão. A resistência dos tubos de plástico depende de quanto tempo eles estarão sujeitos a uma carga e a uma temperatura. Quanto maior a duração da

carga, menor é a resistência. Quanto maior a temperatura, menor é a resistência. Esta perda de resistência dos tubos plásticos sob carga e temperatura é chamada de *Creep*.

A chave do critério de performance do sistema em plástico depende de quatro elementos:

- Resistência - Falha na máxima Tensão;
- Tenacidade (*Toughness*) - Resistência a fratura frágil;
- Ductilidade - Escoamento '*versus*' Fissuramento, isto é, equilíbrio entre resistência e tenacidade;
- Deformabilidade - Capacidade em absorver deformação.

É importante que se tenha o conhecimento de que quando se projetam um sistema de tubulação pressurizada é necessário estar atento a tensão induzida na parede do tubo devido a pressão de operação interna. Materiais metálicos usados em tubos pressurizados são elásticos, isto é; as relações entre tensão e tração são lineares e independem do tempo de duração da carga. No entanto, os plásticos são diferentes. Sua deformação não é proporcional a tensão ou independente do tempo de duração da carga.

Plásticos como o PVC ou PE (Polietileno) não tem um comportamento elástico, a maioria das equações de projetos que foram derivadas de adoção de comportamento elástico, podem ainda ser usadas desde que os valores de resistência sejam apropriadamente estabelecidos. O uso de equações elásticas requer a seleção de valores de resistência que levem em conta as respostas às cargas de longa duração. Para materiais como o PVC ou PE, estes valores são determinados em testes de pressão, conduzidos em amostras de tubos feitos do material em avaliação.

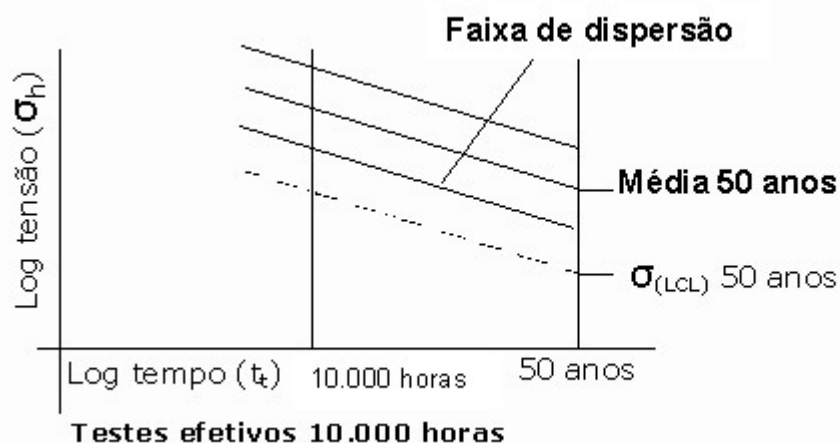
Usando a curva de regressão mostrada na figura 3, a resistência dos tubos de PVC rígido pode ser calculada para a vida desejada de projeto. Na Europa, a vida de projeto adotada é de 50 anos enquanto nos USA (que utilizam as normas ASTM D1598 e D2837) esta vida é de 100 anos, sendo que esta diferença é de apenas 3% menor em relação aos 50 anos. Na vida de projeto, pode-se identificar uma resistência média (S_{media}) para o tubo como mostra a figura 3, e isto normalmente é feito para uma temperatura de teste de 20°C. Esta resistência do tubo é uma média e não leva em conta a pequena variação em torno da curva de regressão média. Isto, por certo, não é um valor conservador da resistência do tubo.

O limite de confiança inferior ($SLCL$) *Lower Confidence Limit* é conservador e leva em conta a pequena variabilidade da resistência do tubo através das fórmulas estatísticas. A indústria européia e americana de tubos plásticos adota 97,5% do valor limite da confiança inferior ($SLCL$) o que implica que na vida de projeto de 50 anos, 97,5% de todos os tubos serão aprovados. O restante 2,5% não aprovados serão cobertos pelo fator de segurança adotado. O valor $SLCL$ é calculado com base na ISO TR 9080 ou documentos similares, normalmente a 20°C (resistências a outras temperaturas podem ser calculadas). Para tubos de plástico, o valor da $SLCL$ é uma propriedade do material e é requerida a fim de possibilitar o cálculo da espessura da parede do tubo, necessária para uma dada pressão de serviço.

O valor final da resistência dos tubos plásticos é o MRS (*Minimum Required Strength*), como resistência mínima requerida, especificado na ISO 12162.

O MRS discutido é definido a 20°C para 50 anos de vida e leva em consideração os valores do $SLCL$ que são similares e coloca-os em família ou grupos que tem a mesma resistência. Por exemplo, quando a faixa de variação do $SLCL$ varia de 25,00 a 27,99 MPa o MRS correspondente será de 25,00 MPa.

Figura 3 – Curva de Regressão



2.1 CONCEITOS UTILIZADOS

2.1.1 Craze e Crak

"Craze" é o fenômeno de formação de uma fissura, é uma região de falha que ainda contém material polimérico que interliga as superfícies opostas do "craze". Esta região não é uma verdadeira fissura (*crak*), mas está plasticamente estendida e orientada em uma direção paralela a tensão aplicada. Internamente disperso dentro do polímero orientado estão vazios, na forma de orifícios muito pequenos, os quais são intra-conectados para formar canais contínuos no "craze". Sob carga contínua (como no caso de tubos sob pressão) "crazes" poderão apresentar uma redução de resistência, a uma extensão onde as fissuras poderão ser formadas.

Crak ou Fissura é um defeito por meio do qual duas novas superfícies são criadas e não são ligadas por polímero. Quando uma fissura está sendo formada pela aplicação da tensão poderá haver uma ligação temporária e localizada destas superfícies, perto da parte inferior da fissura. No entanto, esta ligação temporária (*craze*) poderá ser fraca ou instável ou, subseqüentemente colapsível, permitindo a propagação da fissura (*crak*).

2.1.2 Creep

Creep relaciona a estabilidade dimensional do material sob carga. Em materiais plásticos esta estabilidade dimensional é importante e o tubo deve ser capaz de resistir a modestas cargas de tração por longos períodos de tempo sem qualquer mudança significativa nas dimensões ou forma. *Creep* é, portanto, um fator importante a ser considerado quando se avalia a pressão de trabalho e seu efeito na vida útil do tubo.

Para gerar a relação entre tempo e resistência (mantendo a temperatura constante), amostras individuais são sujeitas a teste de pressão interna (P_t) contínua e pré-determinada que solicita a parede da amostra do tubo, com uma tensão circunferencial (S_h). A relação entre tensão circunferencial (S_h) e pressão interna (P_t) utilizada para tubos plásticos é dada por:

$$\sigma_h = \frac{P_t (d_e - e)}{2e}$$

Onde:

e - espessura da parede mínima

d_e – diâmetro externo médio

As amostras dos tubos nos laboratórios de teste ficam sob uma temperatura controlada, em um banho de água até o tempo de falha (t_f). Nos laboratórios o tempo de teste (t_t) pode ser de algumas horas até tempos superiores a 40 anos. Os dados gerados pelos testes de pressão de um número de amostras de tubos de plástico permitem construir o gráfico da tensão circunferencial (S_h) contra o tempo de falha (t_f) sob uma temperatura determinada. A figura 3 apresenta a

curva de regressão resultante para tubos de PVC.

Pode ser visto neste gráfico (figura 3) que para tubos de PVC rígido (ou mesmo para PE), os dados S_H/t_f caem dentro de uma linha reta com uma razoável aproximação e com baixa dispersão. Isto garante uma confiança na extrapolação da resistência dos tubos de plásticos para 50 anos, 100 anos ou tempos maiores, a 20°C. Para a construção do gráfico foram adotadas ferramentas complexas de matemática, como detalhado na ISO TR 9080.

2.1.3 Fator de Segurança e Tensão de Projeto

Para que o usuário final possa trabalhar com total confiança com os tubos de plástico, o valor do MRS (ou S_{LCL}) é dividido por um fator de segurança (C) para se chegar a tensão de projeto S_S para tubulação. S_S é dada por:

$$\sigma_s = \frac{MRS}{C}$$

Para tubos de PVC rígido, o "C" normalmente adotado é 2.0 e depende:

- do material, particularmente do equilíbrio entre a resistência e a propagação de trincas (toughness);
- da performance histórica no campo;
- da preferência do usuário.

2.1.4 Espessura da parede

Nos tubos de plástico a espessura mínima requerida (e_{min}) em milímetro para uma pressão de trabalho (P) em MPa, e um diâmetro externo (d_{em}) em milímetros, é calculada por:

$$e_{min} = \frac{d_{em} \times P}{2 \times \sigma_s + P}$$

2.1.5 Rigidez

Rigidez é a capacidade de um tubo plástico de resistir a cargas externas como vácuo, pressão externa de água, pressão do reaterro. A rigidez de um tubo plástico é proporcional a inércia *versus* módulo de elasticidade. Como o módulo de elasticidade dos materiais plásticos é baixo, a rigidez também apresenta valores menores que os materiais tradicionais. Como exemplo pode ser dito que o módulo de elasticidade do PVC que é de 30.000 bar enquanto o módulo do aço é 2.000.000 bar.

2.1.6 Deformabilidade

Deformabilidade é a capacidade dos materiais plásticos para absorver deformações. A deformabilidade portanto, é um fator importante para tubulações plásticas enterradas, uma vez que estas são classificadas como flexíveis,ou seja, quanto maior a deformação permissível, maior poderá ser a deflexão diametral do tubo. A tabela 1 mostra a deformação permissível para diferentes materiais.

Tabela 1: Deformação Permissível

MATERIAL DO TUBO	DEFORMAÇÃO PERMISSÍVEL [%]
PVC	2.5 (não é um valor limite)
PE	5.0 (não e um valor limite)
PRFV*	0.5** (valor limite)

*PRFV: Tubo plástico reforçado com fibra de vidro - * **pode ser maior para resinas específicas

3 A PESQUISA NA EUROPA

Em Barcelona, na Espanha, após a detecção de falhas nos tubos de PVC no fim da década de 70, passou-se a utilizar

tubos de PE (polietileno) até DN 150 e ferro dúctil nos diâmetros superiores.

Na Inglaterra, onde ocorreram os mesmos problemas, a utilitária *North West Water* contratou, no fim da década de 70, a consultoria da *Pipeline Development Ltda*, na pessoa do Professor J. M. Marshall para pesquisar as causas das falhas nos tubos de PVC rígido. O primeiro diagnóstico apontava para dois pontos onde havia pouco conhecimento:

- Os tubos de PVC rígido para pressão são sensíveis a defeitos na parede, oriundos do processo de extrusão que atuam como pontos de início das fraturas;
- A sensibilidade à fragilidade relativa dos tubos de PVC rígido, pela ação de cargas concentradas na sua superfície externa oriundas de objetos pontiagudos e duros (pequenas pedras), possíveis de estar presentes no berço de assentamento dos tubos;

Estes problemas iniciais foram contornados da seguinte forma:

- Melhoria no processo de produção, com a eliminação de defeitos e inclusões na parede do tubo durante a extrusão. Isto foi assegurado pela introdução do primeiro teste de propagação de fratura (teste do anel C), em cada lote produzido;
- Treinamento do pessoal de campo para a construção de um berço adequado para o tubo de PVC.

Estas ações iniciais amenizaram os problemas. No entanto, se fazia necessário desenvolver uma nova geração de tubos de PVC, com alteração de seu comportamento quando sujeito a ação de cargas concentradas, ou seja, alterar o comportamento de ruptura frágil para dúctil.

Na época, o polietileno já era conhecido como um material com alta ductilidade, levando a pesquisa no sentido de procurar agregar aos tubos de PVC rígido estas propriedades dúcteis. Isto foi conseguido misturando ao PVC rígido outros materiais de alta resistência à propagação de fratura (acrilatos e polietileno clorado), resultando no PVC-M (PVC Modificado) também conhecido como PVC-A (PVC; ou liga de PVC). Um outro tipo de PVC conhecido com excelente propriedade de resistência a propagação da fratura é o PVC-O (PVC Orientado).

Estas pesquisas foram concluídas com êxito no final da década de 1980 e já no início de 1990 estes tubos foram lançados no mercado inglês pela empresa Hepworth. Ao fim da década de 1990 não havia notícia de rupturas destes tubos de PVC-M (dúcteis).

Hoje os tubos de PVC-M já são utilizados em várias partes do mundo. Para exemplificar pode ser citada as seguintes normas vigentes: SABS Part II. 1988 (South África), AS 3707 (Australian), PINZ 14-1 1997 (NeW Zealand) e Draft BSI spec. PAS 27:1999 (England).

4 COMENTÁRIOS DE TESTES E COMPARATIVO DE NORMAS

4.1 Resistência à pressão interna à 20°C durante 1 hora

A adição de modificadores de agentes de impacto ou tenacidade reduz levemente a resistência total do PVC-M mas deixa um considerável aumento em tenacidade do tubo de PVC-M, especialmente a resistência do material a propagação das fissuras. Este efeito é mais notado na resistência inicial, a qual não tem muito significado quando se tratam de tubos plásticos. Portanto, a resistência hidrostática do PVC-M a 1 hora é de 36 MPa, comparada a 42 MPa do PVC-U. No entanto, a resistência a falha dos dois materiais é similar em períodos de longa duração.

A curva de regressão para o PVC-M é menos inclinada que o PVC-U (PVC Rígido) o que indica uma melhor retenção das propriedades, resultando em um valor mínimo para 50 anos de 24,5 contra 25 MPa para o PVC-U. Ou seja, o PVC-M alcança um valor que pode ser considerado igual ao PVC-U.

Levando em consideração que o coeficiente de segurança do PVC-M é 1,6 (BSI PAS 27) e partindo do pressuposto que se adota a mesma espessura do PVC-U (NBR 7665) que tem o C.S = 2, o PVC-M que se pretende introduzir no Brasil é muito mais seguro que o tubo da NBR 7665 vigente.

4.2 Tenacidade do anel (C-ring toughness)

A aplicação do teste mecânico de fratura foi introduzida como um esforço para aumentar a tenacidade dos tubos de PVC, uma vez que muitas das falhas dos tubos em serviço são iniciadas pela má instalação, o que possibilita o

aparecimento de uma tensão localizada. O exemplo que pode ser citado é o de uma pedra pontiaguda.

A resistência à propagação da fratura de um material é uma medida de sua capacidade em resistir à propagação da fissura. O teste de propagação da fratura foi desenvolvido no sentido de medir o processo de crescimento lento da fissura, ou seja quando do aparecimento do "craze".

Este teste "C" do anel envolve a preparação do corte de um anel do tubo no qual é feito um entalhe pontiagudo, com uma profundidade especificada e com aplicação de uma tensão pré calculada para um tempo específico. A carga será aplicada a fim de que seja iniciada a propagação da fissura. O modo como a fissura se propaga e seu comportamento será investigado, para sinalizar a demonstração de ductilidade (pelo branqueamento do material).

4.3 Resistência hidrostática a temperatura elevada – 60°C

O teste a temperaturas elevadas é essencial para a identificação da transição dúctil-frágil. O teste de pressão a 20°C dá uma identificação de melhoria da tenacidade enquanto o teste a 60°C irá claramente expor o limite do material. Se há uma tendência de falha frágil, esta ocorrerá a alta temperatura. Na BSI PAS 27 não consta este teste, em virtude do PVC-M ter um comportamento dúctil. O teste de pressão a 60° C nos tubos de PVC-M mostra falhas dúcteis com expansão do tubo. O tubo de PVC-M testado a 60°C durante 1000 horas, atinge o mínimo de 14 MPa. O atual tubo de PVC-U segundo a NBR 7665 atinge 12 MPa.

4.4 Teste de pressão hidrostática a longo prazo em tubos com entalhe a 20° C (sensibilidade ao entalhe)

Como já explanado anteriormente o desenvolvimento de PVC-M ocorreu em decorrência da necessidade de melhorar a tenacidade ou a resistência a propagação de fissuras e como consequência, a prevenção do surgimento de falhas frágeis em serviço. Quando do manuseio ou instalação dos tubos é comum que a superfície seja arranhada ou assentada no topo de objetos com pontas. Um método para assegurar que falhas frágeis não se desenvolvem em curto ou longo prazo nestas superfícies com entalhes sob pressão, é efetuar teste de pressão hidrostática a temperatura elevada, em amostra com entalhe. Nestas condições, foram efetuados testes nos tubos de PVC-M, com entalhe muito agudo (raio do entalhe: 0,03 mm) com 20% da espessura de parede, comprimento (L) igual a 100mm. Nestas condições o comportamento do tubo foi similar ao tubo sem entalhe, mostrando escoamento dúctil do material.

4.5 Resistência ao impacto

A resistência ao impacto, assim como o teste de cloreto de metileno em tubos de PVC visa analisar a boa qualidade do processo de fabricação dos tubos. O teste de impacto a 0°C adotado pela norma ISO 3127, tem a finalidade de apresentar um resultado com menor dispersão em torno do valor médio e ser mais rígido, uma vez que o PVC tem uma maior sensibilidade ao impacto em baixas temperaturas.

4.6 Resistência a pressão à longo prazo - definição da tensão de projeto

Nas normas internacionais ISO/TR 9080 (1992) ISO 12162 (1995) ASTM D 1598 e ASTM D2837, a resistência dos tubos plásticos é calculada através de ensaio de longa duração (ensaio de 10.000 horas) com extrapolação para 50 anos (ISO) ou 100 anos (ASTM). A tensão resultante deste ensaio é a tensão adotada como a tensão de projeto para o dimensionamento da espessura de parede, necessária para resistir a pressão de projeto do tubo.

A tabela 2 relaciona os testes solicitados por diferentes normas, comentando a necessidade de incorporação de novos testes à norma brasileira visando a melhoria da performance dos tubos de PVC DEFOFO.

Tabela 2: Norma Brasileira 7665 PVC DEFOFO TUBO RÍGIDO versus BSI PAS 27 PVC Modificado

TESTE	NBR 7665	BSI PAS 27PVC-M	COMENTÁRIOS
Dimensional (Aparência)	solicita	solicita	-
Estabilidade dimensional (Longitudinal reversion)	solicita	solicita	-

Aspecto visual (Freedom from defects)	solicita	solicita	-
Tenacidade do anel (C-ring toughness)	não solicita	solicita	Verifica o comportamento dúctil na fratura, o comportamento frágil não é aceito. Realiza "cloreto de metileno" antes
Temperatura de amolecimento (VICAT)	solicita	solicita	-
Resistência ao impacto	Temp=20°C Percursor metálico com raio de 12,5mm	Temp=0°C Percursor metálico com raio de 12,5mm	A temperatura de 0°C é mais crítica. Este teste tem a função de avaliar a qualidade do processo de extrusão e a qualidade de plastificação.
Tenacidade do anel a longo prazo	não solicita	Teste de longo prazo (10.000 horas extrapolado a 50 anos)	Analisa comportamento dúctil da ruptura (24,5 MPa)
Resistência a flutuações da pressão diurna			Analisa resistência com sobrepressão* e fadiga**
Teste Cloreto de metileno	não solicita	solicita	Este teste tem a função de avaliar a qualidade do processo de extrusão e a qualidade de plastificação.
Resistência a pressão interna a 20°C	solicita Temp= 20°C Tempo: 1 hora Tensão mín:42 MPa	solicita Temp= 20°C Tempo: 1 hora Tensão min: 36 MPa	-
Teste de pressão hidrostática	100 horas – 35 MPa– 20°C 1000 horas 12 MPa – 60° C	não solicita	-
Teste de pressão hidrostática em tubos com entalhe à 20°C a longo prazo.	não solicita	solicita	Analisa a resistência a propagação do entalhe no tubo sujeito a pressão interna a longo prazo.
Teste de pressão hidrostática de longa duração	não solicita	solicitado	Na NBR 7665 a tensão de projeto de 12,5MPa adotada, pressupõe que o tubo apresente uma resistência de 24,5MPa a 50 anos com SF = 2,0. Na BSI PAS 27PVC-M o teste realizado de acordo com a ISO/TR9080, deve apresentar o valor mínimo de 24,5 MPa. Tempo de teste de 10.000 hrs com extrapolação para 50 anos

***Sobrepressão:** pressões indo acima da pressão nominal, oriundas de fechamento rápido de uma válvula, falta de energia elétrica em bomba, entre outros.

****Fadiga:** é associada com pressão cíclica que são aplicadas em tempos repetidos e ocorre com valor abaixo da pressão nominal.

5 CONCLUSÕES

A resistência dos tubos de plástico depende de quanto tempo eles estarão sujeitos a uma carga e a uma temperatura. Quanto maior a duração da carga menor é a resistência. Quanto maior a temperatura, menor é a resistência.

A chave do critério de performance do sistema em plástico depende de quatro elementos:

- Resistência - Falha na máxima Tensão;
- Tenacidade (*Toughness*) - Resistência a fratura frágil;
- Ductilidade - Escoamento 'versus' Fissuramento, ou seja, equilíbrio entre resistência e tenacidade;
- Deformabilidade - Capacidade para absorver deformação.

É importante ter-se o conhecimento de que quando se projetam um sistema de tubulação pressurizada é necessário dar atenção a tensão induzida na parede do tubo, devido a pressão de operação interna. Materiais metálicos usados em tubos pressurizados são elásticos, isto é, as relações entre tensão e tração são lineares, e independem do tempo de duração da carga. No entanto, os plásticos são diferentes pois sua deformação não é proporcional a tensão ou independente do tempo de duração da carga.

Plásticos como o PVC ou PE não tem um comportamento elástico. A maioria das equações de projetos que foram derivadas de adoção de comportamento elástico podem ainda ser usadas, desde que os valores de resistência sejam apropriadamente estabelecidos. O uso de equações elásticas requerem a seleção de valores de resistência que levem em conta as respostas às cargas de longa duração. Para materiais como o PVC ou PE, tais valores são determinados em testes de pressão, conduzidos em amostras de tubos feitos do material em avaliação.

Baseado no diagnóstico e estudos realizados a proposta que se faz é que sejam incorporados através de revisão na atual NBR 7665 em acordo com as normas ISO ou BSI PAS 27; os seguintes testes:

- Cloreto de metileno
- Impacto a 0°C (Em acordo com a ISO)
- Tenacidade do anel (C- ring teste)
- Resistência a pressão hidrostática a 20°C durante 1 hora ,reduzindo de 42MPa para 36 MPa
- Pressão hidrostática a longo prazo em tubos, com entalhe na amostra a 20°C (O tempo de execução do deve ser definido).
- Resistência a pressão a longo prazo com definição da tensão de projeto através da curva de regressão.

Desta forma procura-se atender as necessidades de reduzir ou mesmo eliminar vazamentos, relativos as tubulações de PVC DE FOFO, optando-se por uma solução a partir da revisão aqui proposta, bem como a criação de mecanismos para acompanhamento da performance deste material em campo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASTM D 1598, Standart Method of test for Time -To-Failure of Plastic Pipe Under Long-Term Hydrostatic Pressure-1997
2. ASTM D2837,Standart Method For Obtaining Hydrostatic Design Basis For Thermoplastic Materials - 2001
3. BSI PAS 27/99 - Unplasticized poly (vinyl choride) alloy (PVC-A) pipes and bends for water under pressure.
4. ISO 12162: 1995 - Thermoplastics materials for pipe and fittings for pressure aplications- Classification and designation - overall service (design) coefficient
5. ISO 4422-1:1996,Pipes and fittings made of unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC- U) for water supply- specificatios Part 1: General
6. ISO 4422-2:1996,Pipes and fittings made of unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U) for water supply Specifications Part 2:Pipes (with or without integral sockets)
7. ISO/ TR 9080:1992 Thermoplastic pipe for the transport of fluids Methods of extrapolation of hydrostatic stress rupture data to determine the long-term hydrostatic strenght of thermoplastics pipe materials
8. ISO3127 – Thermoplastics pipes – determination of resistance to external blows; round-the-clock method, 1994
9. MARSHALL, J.M. MARSHALL, G, P. The Development of Toughness in Plastics Pressure Pipe By Modification of PVC - (Pipeline developments LTD) , D Pearson (North West Water LTD).-1980
10. NBR 7665 /99- Sistema para adução e distribuição de agua - Tubos de PVC 12 DEFOFO com junta elástica -

Requisito - 1999

11. Norma Brasileira, NBR 5647-1/99, Sistema para adução e distribuição de água – Tubos e conexões de PVC 6,3 com junta elástica e com diâmetros nominais até DN 100. -
12. UNI-BELL PVC PIPE ASSOCIATION, Handbook of PVC pipe Design and Construction . 1993