

# ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL DE CONEXÕES "T" EM PVC

**Paulo C. Kaminski**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica  
Av. Prof. Mello Moraes, 2231 - 05508-900 - São Paulo - Brasil

**Luiz Bandeira de Mello Laterza**

AQUEDUTO -Rua Fradique Coutinho, 1896 - 05416-002 - São Paulo - Brasil

## Resumo

As tubulações de PVC são a alternativa mais utilizada nas instalações prediais de água fria. As tubulações de PVC apresentam elevada durabilidade o que, associado ao seu baixo peso, facilidade de manuseio e seu custo extremamente competitivo, fez com que este tipo de tubulação substituísse as tubulações de aço galvanizado. Entretanto devido a sua menor resistência mecânica enfrentam problemas de falhas estruturais. Este trabalho tem um caráter tecnológico e aplicado. Inicialmente é apresentada uma descrição das falhas que ocorreram em serviço em conexões de PVC, tipo "T" em diâmetros maiores e pouco usuais. Segue-se uma avaliação das possíveis causas que provocaram estas falhas. A partir do problema identificado define-se o parâmetro crítico de projeto e elabora-se uma metodologia para o desenvolvimento do produto. São realizados modelos tridimensionais de elementos finitos para se avaliar o campo de tensões - deformações. A partir dos modelos calibrados são avaliadas alternativas com vistas a otimização estrutural da conexão considerando critérios técnicos e econômicos.

**Palavras-chave:** conexão em "T", PVC, falhas estruturais

## 1. INTRODUÇÃO

Quase cinquenta anos após terem sido introduzidas no Brasil, as tubulações de PVC são hoje a alternativa mais utilizada nas instalações prediais de água fria. Não sofrendo processo de corrosão, as tubulações de PVC (policloreto de vinila) apresentam elevada durabilidade o que, associado a seu baixo peso, facilidade de manuseio e execução da junta (soldável quimicamente) e seu custo extremamente competitivo, fez com que este tipo de tubulação gradativamente substituísse as tubulações de aço galvanizado amplamente utilizadas nas décadas de 60 e 70.

Entretanto, devido a sua menor resistência mecânica, as tubulações de PVC enfrentam problemas de falhas ocasionadas por pressões ou sobrepressões elevadas que, em certas circunstâncias, podem ocorrer nas instalações prediais, levando à ruptura das tubulações.

Estatísticas do Conselho Internacional de Edificações mostram que as instalações hidráulicas são o subsistema que maior número de problemas apresenta após a ocupação do edifício. Em particular, as instalações de água fria são as que mais contribuem para esse elevado índice de problemas. Os problemas geralmente se configuram como uma ruptura da tubulação, ocasionando infiltração nas paredes e forros, encharcamento dos pisos ou alagamento dos ambientes. Se, por um lado, esse tipo de falha não costuma colocar em risco a vida e a saúde das pessoas, por outro lado os prejuízos materiais e os transtornos causados aos moradores normalmente são consideráveis.

As conexões costumam ser o elo fraco das tubulações e as rupturas quase sempre ocorrem nesses produtos. Dessa forma, mais da metade das reclamações recebidas pelos fabricantes de tubos e conexões de PVC referem-se às conexões utilizadas nas instalações prediais de água fria, apesar desses produtos representarem menos de 20% de suas vendas.

Dentre as conexões, as conexões em "T" e em "joelho" apresentam quase que a totalidade das falhas ocorridas. Isto ocorre pela própria função da conexão que é a de mudar a direção do fluxo da água de forma brusca num pequeno espaço, ao contrário do que acontece com as conexões em curva, por exemplo.

Este trabalho concentrar-se-á no estudo e otimização das conexões em "T". As figuras 1 e 2 apresentam os modelos da referida conexão para a dimensão nominal de 75mm dos dois maiores fabricantes nacionais.

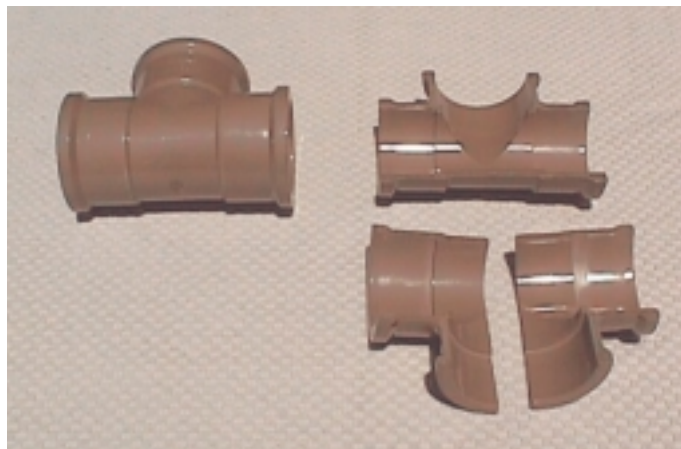


Figura 1. Conexão "T" - 75 mm - fabricante 1



Figura 2. Conexão "T" - 75 mm - fabricante 2

## 2. ESTUDO DA FALHA

Na década de 70, quando houve uma acentuada verticalização das edificações e ao mesmo tempo uma grande popularização das tubulações de PVC, os fabricantes enfrentaram um grave problema nos grandes centros urbanos, pois as válvulas de descarga disponíveis na ocasião tinham sido projetadas para serem instaladas em tubulações de aço galvanizado e provocavam elevados “golpes de aríete”. Na ocasião, foi necessário um esforço conjunto das indústrias de metais sanitários e de tubulações plásticas para o desenvolvimento de válvulas com fechamento lento, de modo que os tubos de PVC pudessem ser utilizados nos edifícios com mais de 4 pavimentos.

Apesar do aperfeiçoamento das válvulas de descarga ter contribuído para uma sensível diminuição do número de problemas ocorridos em edifícios altos, tem-se deparado nos últimos anos, com algumas rupturas de conexões que não podem ser explicadas por pressão excessiva ou pela amplitude das sobrepressões ocorridas na instalação. Nesses casos, medições efetuadas no local demonstram que as pressões atuantes não chegam a ultrapassar a pressão de serviço para a qual foram projetadas as conexões e assim mesmo elas se rompem.

A partir de estudos iniciais, pode-se desprezar a hipótese de defeito isolado de produção pois, em alguns casos, sucessivas substituições das conexões rompidas resultaram em novas rupturas, o que não seria provável caso o defeito não fosse sistemático. A figura 3 apresenta algumas conexões onde ocorreram falhas provocando o vazamento de água.



Figura 3. Conexões com falhas estruturais

Avaliando as conexões com falhas estruturais notou-se que a grande maioria tinha como início os cantos internos do "T". Na conexão maior da figura 3 vê-se claramente a posição do início do vazamento, pois o encanador procurou sanar o problema procurando vedar o vazamento com massa de cimento.

Estudos das falhas ocorridas indicam que o problema que está ocorrendo nesses casos é decorrente do fenômeno de fadiga do material por oscilações de pequena amplitude e alta frequência.

Apesar do fenômeno de fadiga em tubulações de PVC ter sido estudado por alguns pesquisadores, a ênfase foi sempre voltada para tubos (Bowman, 1990) e pouquíssimos trabalhos enfocaram as conexões (Jacobi, 1965).

No Brasil, ainda não foi realizado nenhum estudo sistemático a respeito do fenômeno de fadiga em tubulações de PVC e as normas existentes não fazem menção ou qualquer exigência relativa a resistência à fadiga, seja de tubos, seja de conexões.

Assim partiu-se inicialmente para a modelagem pelo método dos elementos finitos para uma avaliação do campo de tensões e deformações para a dimensão nominal de 75 mm.

### 3. MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

A conexão em "T" devido a existência de dois planos de simetria permite a simulação de 1/4 do modelo geométrico, como mostrado na figura 4.

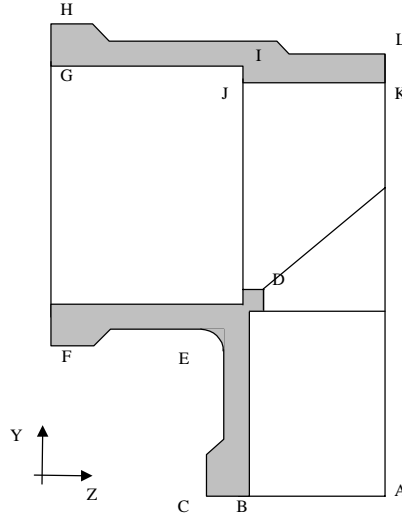


Figura 4. Modelo da conexão "T"

As condições de contorno utilizadas foram:

- restrição de deslocamento em z na face AL devido a simetria;
- restrição de deslocamento em x na face ACFHL devido a simetria;
- restrição de deslocamento em y na face ABC, procurando simular as restrições impostas pela junção de um tubo.

Notar que a face FEGH, por hipótese adotada, não foi restrita na direção z.

As propriedades mecânicas consideradas na modelagem para o material policloreto de vinila (PVC) foram (Collins et all - 1989):

- |                                                     |                      |       |
|-----------------------------------------------------|----------------------|-------|
| • densidade ( $\rho$ )                              | (kg/m <sup>3</sup> ) | 1.400 |
| • coeficiente de poisson ( $\nu$ )                  | (adim)               | 0,3   |
| • módulo de elasticidade (E)                        | (MPa)                | 2.800 |
| • resistência a tração ( $\sigma_{\text{tração}}$ ) | (MPa)                | 50    |

É importante notar que as propriedades mecânicas do PVC alteram-se com a temperatura. As propriedades consideradas foram tomadas para uma temperatura de 20° C (Carlowitz, 1990).

As conexões estarão sujeitas a um estado triaxial de tensões. Assim sendo é necessário utilizar um critério específico para realizar uma comparação com os dados obtidos do ensaio de tração (uniaxial) do material. Neste trabalho será calculada uma "tensão equivalente" também denominada de "tensão de von Mises" obtida da seguinte expressão:

$$\sigma_{\text{equiv}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)} \quad (1)$$

onde os índices 1, 2 e 3 indicam as três tensões principais.

A relação entre a tensão limite a tração e a tensão equivalente fornece uma informação do coeficiente de segurança teórico do componente sob o enfoque da análise estrutural. Assim sendo este parâmetro será determinado para o ponto, ou região, de tensão equivalente máxima.

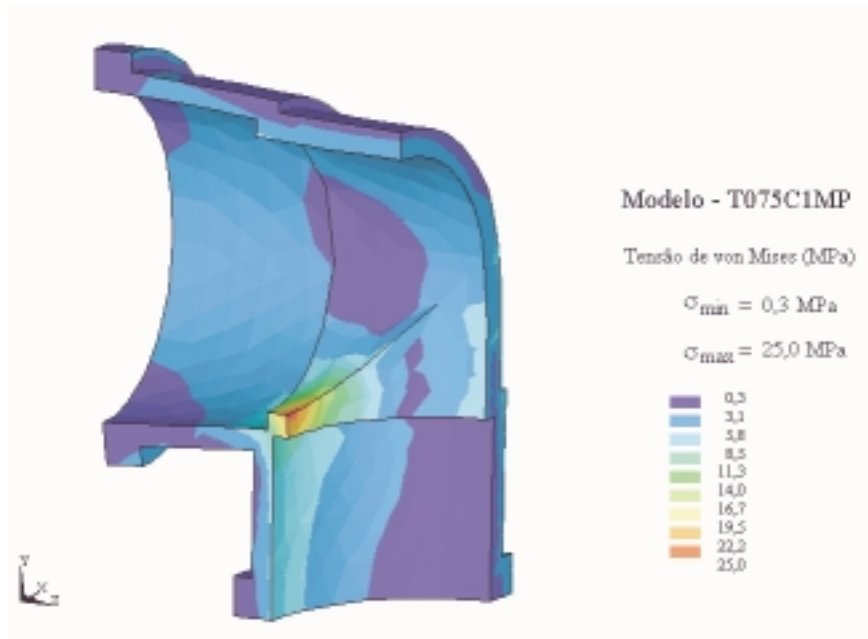


Figura 5. Resultados para a dimensão nominal de 75 mm

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

É importante notar que apenas uma pequena parcela da conexão (região correspondente ao ponto D da figura 4.) apresenta uma concentração de tensão, indicando que se houver falha estrutural na mesma é provável que a trinca ocorra naquela região (ver figura 3 e 6.). Esta região de concentração de tensões tem um valor de tensão da ordem de 4 a 5 vezes superior ao resto da conexão. Notar ainda que este valor é da ordem de 50% da tensão de ruptura, indicando que mesmo no ponto de concentração de tensão para a carga de projeto (pressão interna de  $50 \text{ mca} = 0,5 \text{ MPa}$ ) não deveria haver falhas para cargas estáticas. Assim é mais um indício que o problema em questão é de fadiga.

Sob o enfoque da otimização estrutural não é interessante que um produto tenha uma pequena região com altos níveis de tensão enquanto a maior parte esteja num nível de tensão muito inferior, como é o caso desta conexão. Assim o parâmetro crítico de projeto é a região correspondente ao ponto D e a função objetivo é a minimização do nível de tensão nesta região. Ou seja, atendendo-se este objetivo melhora-se todo o comportamento estrutural do componente (Kaminski, 1999).



Figura 6. Região de concentração de tensão - parte interna

## 5. RECOMENDAÇÕES

Nota-se que muitos fabricantes procuram reforçar, com o acréscimo de material a região correspondente ao ponto E da figura 4. Isto provavelmente ocorre em virtude de visualmente se detectar a trinca nesta região. Entretanto a partir de uma análise mais acurada dos resultados apresentados na figura 5 nota-se que esta região apresenta um nível de tensão baixo, e portanto, para o problema em questão de nada adianta acrescentar material nesta posição.

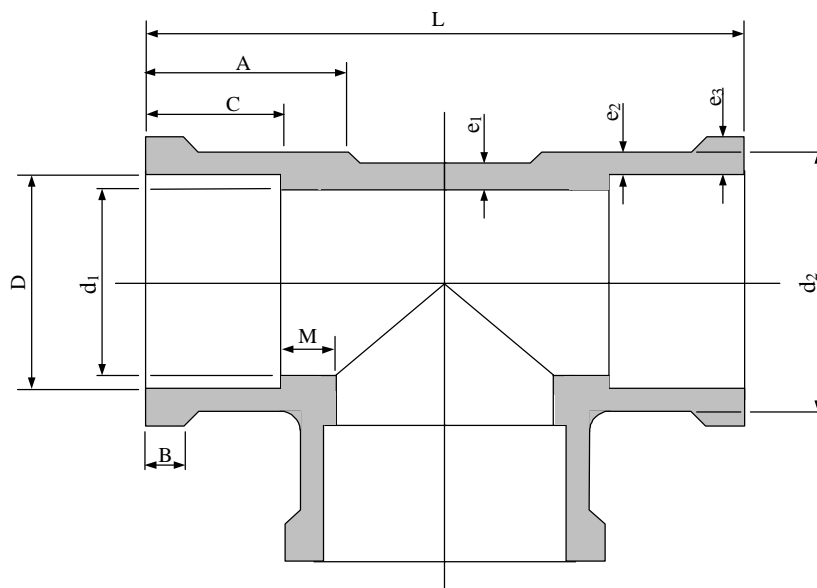


Figura 6. Nomenclatura das dimensões

A partir de um estudo mais aprofundado nota-se que o problema da concentração de tensão está intimamente ligado com a relação das dimensões  $(D-d_1)$  e  $M$ , dimensão esta do degrau do batente. Ou seja, há uma concentração de tensão em virtude de uma mudança "brusca" de seção. Assim deve-se atuar sobre estas dimensões, sem aumentar em demasia o volume e portanto a massa e o custo da peça, com o intuito de otimizá-la estruturalmente e não na dimensão  $e_1$  ou  $e_2$  como se nota em alguns produtos disponíveis no mercado.

Tendo este resultado como válido e comprovado procurou-se alternativas chegando ao modelo apresentado na figura 7.

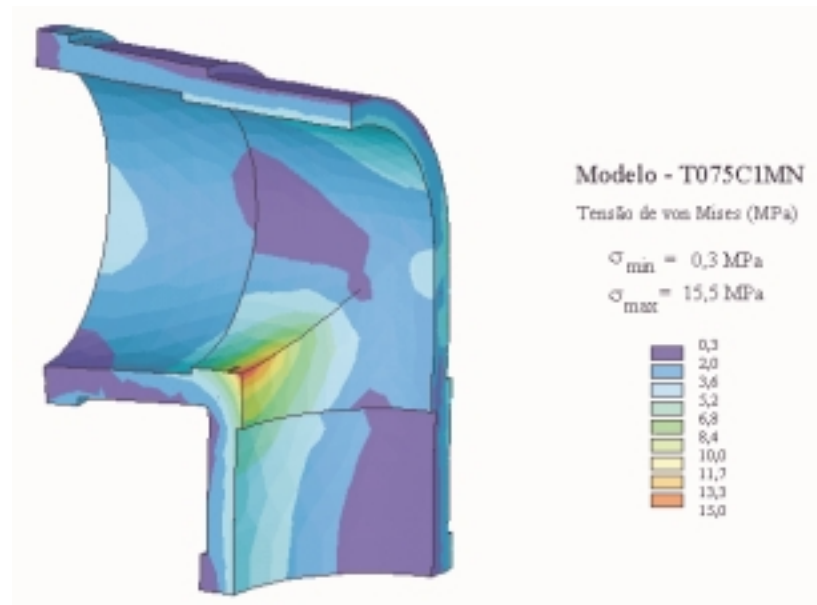


Figura 7. Resultados atualizados para a dimensão nominal de 75 mm

## 6. CONCLUSÕES

As tubulações de PVC são atualmente a alternativa mais utilizada nas instalações prediais de água fria. Entretanto, devido a sua menor resistência mecânica, as tubulações de PVC enfrentam problemas de falhas levando à ruptura das tubulações.

Dentre as conexões, as conexões em "T" e em "joelho" são as mais críticas. Isto ocorre pela própria função da conexão que é a de mudar a direção do fluxo da água de forma brusca num pequeno espaço, ao contrário do que acontece com as conexões em curva, por exemplo.

Este trabalho procurou inicialmente apresentar a análise das falhas ocorridas em conexões "T", identificando a região de início da trinca e principalmente sua causa (fadiga). A seguir, com o auxílio da modelagem pelo método dos elementos finitos identificou-se a região de concentração de tensão e o motivo para a ocorrência desta concentração de tensão. A seguir analisou-se alternativas técnica e economicamente viáveis para uma otimização estrutural do componente. Foi apresentada uma solução com uma diminuição de 40% no nível de tensão máxima.

É importante notar que vários dos produtos existentes no mercado tem caminhado para uma concepção estrutural contrária à apresentada neste trabalho, ou seja aumentando a massa e portanto a rigidez em regiões de pequenos valores de tensão.

Por fim é importante ressaltar que este trabalho é resultado de atividades conjuntas entre o setor produtivo e a universidade, tendo um caráter tecnológico com uma grande finalidade social. Vide recentes ocorrências em edificações prediais com enormes perdas materiais e, em alguns casos, com perdas humanas. A sequência do trabalho está no desenvolvimento de um sistema para ensaio a fadiga de conexões em PVC.

## 7. REFERÊNCIAS

1. Bowman J.A. **The fatigue response of polyvinyl chloride and polyethylene pipe systems**, ASTM STP 1093, 1990.
2. Carlowitz, B. **Tabellarische Übersicht über die Prüfung von Kunststoffen**, 5. Auflage, Kunststoff Verlag, 1990.
3. Collins, E.A.; Daniels, C.A.; Witenhafer, D.E. **Physical constants of polyvinyl chloride**, Polymer Handbook, third edition, 1989.
4. Hartog, J.P. **Advanced Strength of Materials**, Dover Publications, 1987.
5. Jacobi, H.R. **Dauerbrucherscheinigung an Rohr-Fittings aus Hart-PVC**, Kunststoffe, bd. 55, 1965.
6. Janson, L.E. **Plastic Pipes for Water Supply and Sewage Disposal**, Borealis, Stockholm, 1999.
7. Kaminski, P.C. **Desenvolvendo Produtos com Planejamento Criatividade e Qualidade**, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1999.
8. Uni-Bell PVC Pipe Association **Handbook of PVC Pipe – Design and Construction** Uni-Bell, Dallas, 1993.