

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**COMPORTAMENTO MECÂNICO DE DUTOS METÁLICOS  
REPARADOS COM MATERIAIS COMPÓSITOS.**

**CINTHIA THAÍS DE CARVALHO LUZ THOMAZI**

**ORIENTADOR: FLAMÍNIO LEVY NETO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM SISTEMAS MECATRÔNICOS**

**PUBLICAÇÃO: ENM.DM – 04 A/06**

**BRASÍLIA/DF: MARÇO – 2006**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**COMPORTAMENTO MECÂNICO DE DUTOS METÁLICOS  
REPARADOS COM MATERIAIS COMPÓSITOS.**

**CINTHIA THAÍIS DE CARVALHO LUZ THOMAZI**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE EM SISTEMAS MECATRÔNICOS.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Flaminio Levy Neto, PhD (ENM-UnB)  
(Orientador)**

---

**Prof. Carlos Alberto Cimini Júnior, PhD (DEMEC - UFMG)  
(Examinador Externo)**

---

**Prof. Cosme Roberto Moreira da Silva, PhD (Ministério da Defesa)  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 09 DE MARÇO DE 2006**

## FICHA CATALOGRÁFICA

THOMAZI, CINTHIA THAÍS DE CARVALHO LUZ	
Comportamento mecânico de dutos metálicos reparados com materiais compósitos [Distrito Federal] 2006.	
xvii, 135p., 297 mm (ENM/FT/UnB, Mestre, Sistemas Mecatrônicos, 2006). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.	
Departamento de Engenharia Mecânica.	
1.Reparo em Dutos	2.Materiais Compósitos
3.Elementos Fritos	4.Recuperação Mecânica
I. ENM/FT/UnB	II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

THOMAZI, C. T. (2006). Comportamento mecânico de dutos metálicos reparados com materiais compósitos. Dissertação de Mestrado em Sistemas Mecatrônicos, Publicação ENM.DM-04A/06, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 135p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Cinthia Thais de Carvalho Luz Thomazi.

TÍTULO: Comportamento Mecânico de Dutos Metálicos Reparados com Materiais Compósitos.

GRAU: Mestre      ANO: 2006

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Cinthia Thais de Carvalho Luz Thomazi  
SQS 106 Bl "G" Apt 305.  
70.345-070 Brasília - DF – Brasil.

## **AGRADECIMENTOS**

### **A Deus,**

Por minha saúde, por minha família e por ter colocado no meu caminho, pessoas iluminadas, indispensáveis para o sucesso deste trabalho.

### **Professor Flamínio,**

Meu orientador, pelo apoio e dedicação, não medindo esforços para dirimir minhas dúvidas.

### **Rodrigo Drummond,**

Meu marido, por seu companheirismo e compreensão, me ajudando a superar os momentos difíceis.

## **RESUMO**

### **COMPORTAMENTO MECÂNICO DE DUTOS REPARADOS COM MATERIAIS COMPÓSITOS**

**Autor: Cinthia Thaís de Carvalho Luz Thomazi**

**Orientador: Flamínio Levy Neto**

**Programa de Pós-graduação em Sistemas Mecatrônicos**

**Brasília, março de 2006.**

Várias técnicas têm sido indicadas na restauração de dutos metálicos. O emprego de materiais compósitos tem ganhado popularidade e mostrando-se uma excelente alternativa às ligas metálicas convencionais. Em particular, compósitos com matriz de resina epóxi e reforçados com tecidos de fibras, vem sendo empregados em situações práticas.

Baseado nestas alternativas restauradoras objetiva-se avaliar, neste trabalho, o efeito de diferentes fibras do compósito reparador na recuperação mecânica de dutos metálicos avariados, bem como a análise de custo das soluções apresentadas.

A análise de tensões e deformações foi efetuada utilizando o Método de Elementos Finitos, submetendo os dutos de aço a pressões internas de 2, 4, 6, 8 e 10 MPa, simulando situações envolvendo o transporte de fluidos.

O modelo utilizado foi validado através da análise de convergência dos valores obtidos numericamente com os resultados experimentais apresentados na literatura.

Os resultados da análise de deformação para o duto íntegro e dutos restaurados foram comparados entre si, permitindo avaliar as alternativas economicamente mais viáveis que restabeleçam o comportamento mecânico do duto, especificamente na restauração da rigidez de uma região, na qual houve perda de espessura na parede original do duto.

Observou-se essa restituição utilizando-se três tipos diferentes de reforço.

## **ABSTRACT**

### **MECHANICAL BEHAVIOR OF PIPES REPAIRED WITH COMPOSITE MATERIALS**

**Author: Cinthia Thaís de Carvalho Luz Thomazi**

**Supervisor: Flaminio Levy Neto**

**Programa de Pós-graduação em Sistemas Mecatrônicos**

**Brasília, March 2006**

Different procedures have been adopted for the repair of metallic pipes. The use of composite materials has becoming more popular and being consolidated as an excellent alternative relatively to conventional metallic alloys. In particular, composites of epoxy matrix reinforced with fiber fabrics have been adopted in practical situations.

Based on such alternatives, it is the purpose of this work to evaluate the effect of different fibers on the mechanical repair of damaged pipes, as well as to analyze the cost of the presented solutions.

The stress and strain analyses were carried out using the Finite Element Method and the pipes were subjected to internal pressures of 2, 4, 6, 8 and 10 MPa, simulating situations involved in the transportation of fluids.

The model was validated by means of a convergence analysis of the numerical values, which were compared with experimental results obtained from de literature.

The results of the strain analysis of the perfect and repaired pipes were compared among themselves, allowing an evaluation of the most cost effective alternatives, which can restore the mechanical behavior of the pipe, specifically the stiffness of a section in which the thickness of the original wall was reduced. It was observed such restoration using three kinds of reinforcing fibers.

# SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>MODELAMENTO MATEMÁTICO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Teoria de Materiais Compósitos .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Micromecânica.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Macromecânica de lâminas compósitas.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>Teoria de Cascas .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3</b>	<b>Elementos Finitos.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.1</b>	<b>COMPSHELL.....</b>	<b>12</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA E ANÁLISE NUMÉRICA .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>Análise de Convergência .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Análise Experimental - Resultados .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Simulação Numérica - COMPSHELL.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Simulação Numérica .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Tubo Íntegro .....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Tubo Desbastado .....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Tubos Reparados .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3</b>	<b>Análise de Custo da Matéria Prima.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Custo da Fibra .....</b>	<b>49</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Custo da Resina .....</b>	<b>49</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1</b>	<b>Tubo Íntegro .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2</b>	<b>Tubo Desbastado .....</b>	<b>55</b>
<b>4.3</b>	<b>Tubo Reparado .....</b>	<b>60</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Carbono / Epóxi.....</b>	<b>60</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Kevlar / Epóxi .....</b>	<b>72</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Vidro / Epóxi.....</b>	<b>84</b>
<b>4.4</b>	<b>Análise Econômica.....</b>	<b>96</b>
<b>4.5</b>	<b>Acréscimo de Massa .....</b>	<b>97</b>

<b>5.</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>99</b>
5.1	Validação do Modelo Proposto.....	99
5.2	Simulação Numérica - COMPSHELL.....	100
5.3	Espessura Ideal de Reparo .....	101
5.4	Restituição da Rigidez.....	102
5.5	Resultante de Momento Fletor Circunferencial ( $M_{\theta}$ ). .....	105
5.6	Resultante de Tensão Circunferencial ( $N_{\theta}$ ). .....	105
5.7	Análise Econômica.....	106
5.8	Critério de Falha.....	107
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>108</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>110</b>
<b>A.</b>	<b>ENTRADA DE DADOS UTILIZADOS PELO SOFTWARE COMPSHELL</b>	<b>111</b>
<b>B.</b>	<b>SAÍDA DE DADOS FORNECIDA PELO SOFTWARE COMPSHELL.....</b>	<b>114</b>



## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – CARACTERÍSTICAS DOS TUBOS DE PAREDE FINA. (MAIA, 2003).....	11
TABELA 3.1 – CONFIGURAÇÃO DOS TUBOS ENSAIADOS. (MAIA, 2003).....	15
TABELA 3.2 - DIMENSÕES DOS TUBOS DESBASTADOS – MEDIDAS REFERENTES À REGIÃO DESBASTADA. ....	16
TABELA 3.3 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS REPAROS APLICADOS. (MAIA, 2003).....	17
TABELA 3.4 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS. (MAIA, 2003).....	17
TABELA 3.5 – DEFORMAÇÕES CIRCUNFERENCIAIS (MAIA, 2003).....	18
TABELA 3.6 – DESLOCAMENTO MÁXIMO $w_{MÁX}$ – VALORES EM MM – TUBO 01. ....	20
TABELA 3.7 – DEFORMAÇÕES CIRCUNFERENCIAIS MÁXIMAS - TUBO 01. ....	20
TABELA 3.8 – DIFERENÇA PERCENTUAL ENTRE OS VALORES SIMULADOS E OS EXPERIMENTAIS - TUBO 01.....	20
TABELA 3.9 – NÚMERO DE ELEMENTOS POR SEGMENTO – TUBO 03.....	27
TABELA 3.10 – DESLOCAMENTO MÁXIMO $w_{MÁX}$ – VALORES EM MM – TUBO 03. ....	27
TABELA 3.11 – DEFORMAÇÕES CIRCUNFERENCIAIS MÁXIMAS - TUBO 03. ....	28
TABELA 3.12 – DIFERENÇA PERCENTUAL ENTRE OS VALORES SIMULADOS E OS EXPERIMENTAIS - TUBO 03....	28
TABELA 3.13 – NÚMERO DE ELEMENTOS POR SEGMENTO – TUBO 06. ....	35
TABELA 3.14 – DESLOCAMENTO MÁXIMO $w_{MÁX}$ – VALORES EM MM – TUBO 06. ....	35
TABELA 3.15 – DEFORMAÇÕES CIRCUNFERENCIAIS MÁXIMAS - TUBO 06. ....	36
TABELA 3.16 – DIFERENÇA PERCENTUAL ENTRE OS VALORES SIMULADOS E OS EXPERIMENTAIS - TUBO 06....	36
TABELA 3.17 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS. (WWW.MATWEB.COM; MAIA, 2003; DATOO,1989; LEVY NETO, 1991).....	43
TABELA 3.18 – CONFIGURAÇÃO DO TUBO ÍNTEGRO SIMULADO.....	44
TABELA 3.19 – CONFIGURAÇÃO DO TUBO DESBASTADO SIMULADO.....	45
TABELA 3.20 – ESPESURA DO REPARO.....	46
TABELA 3.21 – CONFIGURAÇÃO DOS TUBOS. ....	47
TABELA 3.22 – CARACTERÍSTICAS DOS COMPÓSITOS UTILIZADOS. ....	47
TABELA 3.23 – CUSTO DA MATÉRIA PRIMA DE FIBRA E RESINA. (WWW.ABCOL.COM.BR).....	47
TABELA 3.24 – CARACTERÍSTICAS DOS COMPÓSITOS UTILIZADOS. ....	48
TABELA 3.25 – CUSTO DAS FIBRAS NOS REPAROS COMPÓSITOS. ....	49
TABELA 3.26 – CUSTO DA RESINA EPÓXI POR REPARO COMPÓSITO. ....	49
TABELA 4.1 – DESLOCAMENTO MÁXIMO $w_{MÁX}$ – VALORES EM MM. ....	50
TABELA 4.2 – DEFORMAÇÕES CIRCUNFERENCIAIS MÁXIMAS. ....	50
TABELA 4.3 – DESLOCAMENTO MÁXIMO $w_{MÁX}$ – VALORES EM MM. ....	55
TABELA 4.4 – DEFORMAÇÕES CIRCUNFERENCIAIS MÁXIMAS. ....	55
TABELA 4.5 – DESLOCAMENTO MÁXIMO $w_{MÁX}$ – VALORES EM MM. ....	60
TABELA 4.6 – DEFORMAÇÕES CIRCUNFERENCIAIS MÁXIMAS. ....	61
TABELA 4.7 – DESLOCAMENTO MÁXIMO $w_{MÁX}$ – VALORES EM MM. ....	72
TABELA 4.8 – DEFORMAÇÕES CIRCUNFERENCIAIS MÁXIMAS. ....	73
TABELA 4.9 – DESLOCAMENTO MÁXIMO $w_{MÁX}$ – VALORES EM MM. ....	84
TABELA 4.10 – DEFORMAÇÕES CIRCUNFERENCIAIS MÁXIMAS. ....	85

TABELA 4.11 – CUSTO TOTAL POR COMPÓSITO .....	96
TABELA 4.12 – RELAÇÕES CUSTO/ESPESSURA E CUSTO X ESPESSURA .....	96
TABELA 4.13 – RELAÇÃO E/CUSTO. ....	96
TABELA 4.14 – MASSA DOS TUBOS. ....	97
TABELA 4.15 – RELAÇÃO $E / M_{\text{REPARO}}$ .....	98
TABELA 4.16 – RELAÇÃO $R\$ \times E_{\text{REPARO}} \times M_{\text{REPARO}}$ .....	98
TABELA 5.1 – COMPARATIVO $N_{\theta}$ - TUBO DE ALUMÍNIO DESBASTADO – VALORES EM MPA X MM. ....	99
TABELA 5.2 – COMPARATIVO $N_{\theta}$ - TUBOS DE AÇO DESBASTADO – VALORES EM MPA X MM. ....	99
TABELA 5.3 – DESLOCAMENTOS MÁXIMOS ( $w_{\text{MÁX}}$ ) – VALORES EM MM. ....	100
TABELA 5.4 – DEFORMAÇÃO CIRCUNFERENCIAL MÁXIMA ( $\epsilon_{\text{C MÁX}}$ ) – VALORES EM 10 E-6. ....	101
TABELA 5.5 – ESPESSURA DO REPARO.....	101
TABELA 5.6 – DESLOCAMENTOS MÁXIMOS ( $w_{\text{MÁX}}$ ) – TUBOS DE AÇO ÍNTEGRO E DESBASTADO – VALORES EM MM.....	102
TABELA 5.7 – DESLOCAMENTOS MÁXIMOS ( $w_{\text{MÁX}}$ ) – CARBONO / EPÓXI – VALORES EM MM.....	102
TABELA 5.8 – DESLOCAMENTOS MÁXIMOS ( $w_{\text{MÁX}}$ ) – KEVLAR / EPÓXI – VALORES EM MM. ....	103
TABELA 5.9 – DESLOCAMENTOS MÁXIMOS ( $w_{\text{MÁX}}$ ) – VIDRO / EPÓXI – VALORES EM MM. ....	103
TABELA 5.10 – PARÂMETROS ECONÔMICOS. ....	106
TABELA 5.11 – RESULTADOS DO CRITÉRIO DE FALHA. ....	107
TABELA 6.1 – PARÂMETROS ECONÔMICOS. ....	109

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - LÂMINAS COM REFORÇO TIPO: (A) UNIDIRECIONAL; (B) TECIDO BIDIRECIONAL BALANCEADO; (C) FIBRAS PICADAS; E (D) MANTA CONTÍNUA; SUBMETIDAS A ESFORÇOS DE TRAÇÃO UNIAxIAL LONGITUDINAIS. (LEVY NETO E PARDINI, 2006).....	3
FIGURA 2.2 – DIREÇÕES PRINCIPAIS 1-2 EM UMA LÂMINA DE COMPÓSITO. (LEVY NETO E PARDINI, 2006).....	4
FIGURA 2.3 – SISTEMAS DE COORDENADAS (1,2,3) E (X,Y,Z). (LEVY NETO E PARDINI, 2006).....	6
FIGURA 2.4 – (A) TENSÕES ATUANTES EM UM ELEMENTO DE CASCA E (B) RESULTANTES DE TENSÃO E MOMENTO EM UM ELEMENTO DE CASCA (LEVY NETO E PARDINI, 2006). ....	8
FIGURA 2.5 – DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DE UM SEGMENTO DE TUBO CILÍNDRICO (MAIA, 2003). ....	10
FIGURA 2.6 - REPRESENTAÇÃO DE UM ELEMENTO FINITO DE CASCA AXISSIMÉTRICA.....	13
FIGURA 2.7 - GRAUS DE LIBERDADE DE UM ELEMENTO FINITO DE CASCA AXISSIMÉTRICA.....	13
FIGURA 3.1 – REPRESENTAÇÃO DOS TUBOS ÍNTEGROS 01 E 02.....	15
FIGURA 3.2 – REPRESENTAÇÃO DO TUBO DESBASTADO SEM REPARO.....	16
FIGURA 3.3 – REPRESENTAÇÃO DO TUBO DESBASTADO E REPARADO 06.....	16
FIGURA 3.4 – REPRESENTAÇÃO DAS COORDENADAS ADMITIDAS - TUBO 03. ....	27
FIGURA 3.5 – REPRESENTAÇÃO DAS COORDENADAS ADMITIDAS - TUBO 06. ....	35
FIGURA 3.6 – REPRESENTAÇÃO DO TUBO ÍNTEGRO. ....	44
FIGURA 3.7 – REPRESENTAÇÃO DO TUBO DESBASTADO. ....	44
FIGURA 3.8 – REPRESENTAÇÃO DO TUBO REPARADO. ....	45
FIGURA 4.1 – REPRESENTAÇÃO DO TUBO REPARADO – CARBONO/EPÓXI.....	60
FIGURA 4.2 – REPRESENTAÇÃO DO TUBO REPARADO – KEVLAR/EPÓXI. ....	72
FIGURA 4.3 – REPRESENTAÇÃO DO TUBO REPARADO – VIDRO/EPÓXI. ....	84
FIGURA 5.1 – DESLOCAMENTO RADIAL MÁXIMO ( $w_{MÁX}$ ) X PRESSÃO.....	100
FIGURA 5.2 – DEFORMAÇÃO CIRCUNFERENCIAL MÁXIMA ( $\epsilon_{C M Á X}$ ) X PRESSÃO. ....	101
FIGURA 5.3 - REPRESENTAÇÃO DO DESLOCAMENTO MÁXIMO ABSOLUTO ( $w_{M Á X}$ ) E SUA VARIAÇÃO ( $\Delta w_{M Á X}$ ). .	102
FIGURA 5.4 – COMPARATIVO DESLOCAMENTO RADIAL X POSIÇÃO “S” – CARBONO / EPÓXI.....	103
FIGURA 5.5 – COMPARATIVO DESLOCAMENTO RADIAL X POSIÇÃO “S” – KEVLAR / EPÓXI. ....	104
FIGURA 5.6 – COMPARATIVO DESLOCAMENTO RADIAL X POSIÇÃO “S” – VIDRO / EPÓXI. ....	104
FIGURA 5.7 – RESULTANTE DE MOMENTO FLETOR TENDENDO A ZERO.....	105
FIGURA 5.8 – RESULTANTE DE TENSÃO CIRCUNFERENCIAL MINIMIZADA PELO REPARO.....	105

## 1. INTRODUÇÃO

São várias as causas que podem oferecer danos a tubulações, desde corrosão, erosão interna ou externa, amassamento; acarretando prejuízos não somente pelo custo do próprio reparo, mas também pela necessidade de interrupção no fluxo para conserto. Um maior aprofundamento sobre os danos que ocorrem em tubulações pode ser obtido na literatura (Silva Telles, 2003).

Tendo em vista a necessidade mundial de manter as plantas industriais em operação ininterrupta, surgiu a necessidade de desenvolvimento de uma tecnologia de reparos de tubulações que dispensasse sua substituição, ainda que parcial, mantendo o duto original.

Várias técnicas têm sido indicadas na recuperação de tubulações. Entre elas, a mais antiga e difundida, devido à sua disponibilidade e baixo custo de matéria prima, é a utilização de luvas metálicas. Entretanto, este método de reparo apresenta uma série de desvantagens, tais como a necessidade de interrupção no fluxo de gases / líquidos, necessidade de equipamentos de corte e solda em metal (inviável para aplicações em campo) e maior tempo necessário.

Devido às desvantagens citadas anteriormente, o emprego de materiais compósitos, têm ganhado popularidade, se mostrando uma excelente alternativa aos reparos metálicos, principalmente por dispensar a interrupção do fluxo durante a aplicação, exigindo apenas uma diminuição da pressão na linha. Outra vantagem é a possibilidade de variação nas propriedades mecânicas do compósito conforme a necessidade, uma vez que se trata de materiais anisotrópicos, mais leves quando comparados às ligas metálicas e que apresentam economia de tempo na recuperação e podem ser aplicados em campo.

Independente da técnica utilizada, os dutos avariados sofrem uma alteração significativa em suas propriedades mecânicas, principalmente no que se refere à rigidez. Por esse motivo é de fundamental importância avaliar se os reparos propostos são capazes de recuperar essa propriedade sem acarretar problemas indesejados, como estrangulamento ou estufamento na região do reparo e aumento excessivo de massa.

A utilização de material compósito para reparo em dutos, especialmente de fibra de Carbono/Epóxi, aumenta a capacidade de resistir à pressão interna, e, portanto, eleva de forma significativa a durabilidade, a resistência e as propriedades de corrosão do material (Toutanji e Dempsey, 2000).

Este trabalho consiste basicamente na simulação numérica do comportamento mecânico, de tubos de aço, nas suas diferentes configurações (íntegro, desbastado e reparado), tendo como instrumento o programa de elementos finitos COMPSHELL. Este programa realiza análise estática de tensões em cascas laminadas de revolução (axissimétricas) submetidas a pressões uniformemente distribuídas, interna ou externamente (Levy Neto, 1991).

Para os tubos reparados consideraram-se as fibras (fase de reforço) comercialmente mais acessíveis Carbono, Vidro-E e de Aramida (Kevlar). A matriz selecionada (que aglutina, protege e estabiliza geometricamente) foi o Epóxi por possui melhores propriedades mecânicas, ser consagrada na indústria aeronáutica, absorver menos água e apresentar

menos vazios durante a cura. Os compósitos reforçados com fibras em pauta apresentam elevados índices de rigidez/peso e resistência/peso (Gibson, 1994).

No contexto geral de compósitos, um maior aprofundamento sobre o assunto pode ser encontrado na literatura (Hallaway, 1994; Mayer & Hancox, 1995; Geir, 1995; Mayer, 1995; Kim, 1995).

Para se obter um resultado com elevada acuidade, a malha de elementos finitos, com a geometria dos tubos, os esforços solicitantes, os vínculos estruturais e as propriedades elásticas dos diversos materiais envolvidos (aço AISI 1020, Carbono / Epóxi, Vidro / Epóxi e Kevlar / Epóxi), deve reproduzir com a maior fidelidade possível os estados de tensões atuantes nas diferentes situações a serem analisadas (tubo íntegro, tubo desbastado e tubo reparado).

Essa fidelidade permitirá a comparação com os valores obtidos experimentalmente por Gilmar et al.(2003), com o objetivo de avaliar a recuperação da rigidez do tubo avariado, utilizando materiais compósitos, analisando para isso a deformação circunferencial e discutir sobre a viabilidade econômica desse tipo de reparo.

Estes aspectos, e outros adicionais, serão discutidos detalhadamente nos capítulos que se seguem.

Os objetivos deste trabalho são:

1. Realizar meticulosa análise de convergência nas malhas de elementos finitos empregadas para simular o comportamento mecânico das cascas cilíndricas íntegras, desbastadas e reparadas com lâminas compósitas circunferenciais;
2. Comparar simulações numéricas realizadas em tubos: (i) íntegros de alumínio; (ii) com desbaste axissimétrico na região central; e (iii) reparados com Carbono / Epóxi, fechados nas extremidades e submetidos a vários níveis de pressão hidrostática interna, com resultados experimentais disponíveis na literatura;
3. Realizar inúmeras simulações numéricas em tubos de Aço AISI 1020, reparados com resina epóxi reforçada com fibras de Carbono (de alta resistência), Aramida (Kevlar 49) e Vidro E, de forma a quantificar os índices de mérito para peso, custo e rigidez peculiares a cada tipo de reforço adotado.

## 2. MODELAMENTO MATEMÁTICO

### 2.1 Teoria de Materiais Compósitos

O conceito básico de material compósito é a combinação, a nível macroscópico, de pelo menos duas fases distintas, denominadas matriz e reforço, resultando em um material com características e comportamentos mecânicos diferentes dos apresentados pelos materiais de origem isoladamente. Via de regra, o desempenho mecânico dos compósitos é superior ao da matriz, em termos de resistência e rigidez.

A versatilidade dos materiais compósitos, permitindo a manufatura do material (compósito) dotado de propriedades ajustadas à necessidade, é seu principal atrativo quando comparado com materiais estruturais isotrópicos tradicionais (materiais metálicos), que apresentam propriedades bem definidas, repetitivas, previsíveis e iguais em qualquer direção. Entretanto, se mostram sensíveis à umidade e temperatura (Hull & Clyne, 1996).

Essa versatilidade é permitida pela imensa gama de combinações possíveis de matriz e reforço existentes, além da possibilidade de combiná-los em proporções mássicas e volumétricas diversas e da influência causada pela variação da orientação das fibras.

Mas, se por um lado a liberdade de ajustar o material a um requisito específico de projeto é extremamente vantajoso, por outro, torna o modelamento matemático do comportamento mecânico dos compósitos, mais difícil e trabalhoso (Terrek & Argyris, 1998).

Cabe às fibras, a função de conferir alta rigidez e resistência ao compósito, uma vez que essas são propriedades inerentes a sua estrutura. E à matriz cabe aglutinar, proteger de danos ambientais e mecânicos e estabilizar geometricamente as fibras, permitindo que os reforços transfiram esforços mecânicos entre si e trabalhem de forma integrada.

Os reforços em compósitos podem constituir-se de fibras ou partículas como ilustrado na Figura 2.1, apresentando cada um, propriedades e características diferentes dependendo da direção do esforço solicitante.

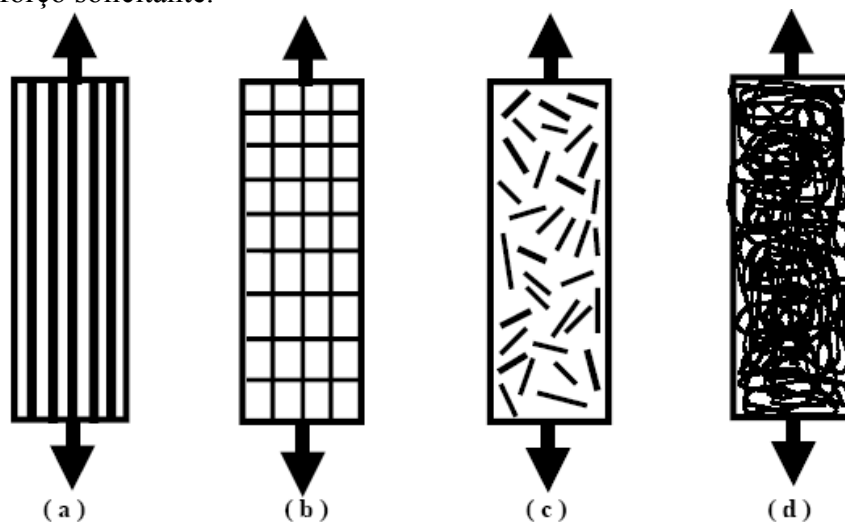


Figura 2.1 - Lâminas com reforço tipo: (a) unidirecional; (b) tecido bidirecional balanceado; (c) fibras picadas; e (d) manta contínua; submetidas a esforços de tração uniaxial longitudinal. (Levy Neto e Pardini, 2006).

### 2.1.1 Micromecânica

As propriedades elásticas dos materiais são características mecânicas essenciais para a análise de tensões que permite relacionar as tensões mecânicas e as deformações que ocorrem em um material. Adicionalmente, a maior parte das estruturas mecânicas existentes trabalha no regime elástico durante sua vida útil.

Para materiais isotrópicos como as ligas metálicas, as propriedades elásticas são conhecidas e constantes, amplamente presentes na literatura, e de fácil obtenção através de ensaios muito simples.

Entretanto, para os materiais compósitos, as propriedades são sensíveis a inúmeras variáveis, como o tipo de fibra e resina a serem utilizadas, suas frações volumétricas, tipo de cura, além da orientação das fibras.

Para sanar essa dificuldade, surgiu a micromecânica que é basicamente uma técnica de homogeneização que permite o cálculo das propriedades elásticas de um compósito a partir das propriedades elásticas de seus constituintes, desde que as frações volumétricas dos mesmos sejam conhecidas.

Em materiais compósitos existe um sistema de coordenadas próprio, em que os eixos se posicionam paralelo (direção 1) e perpendicular (direção 2) às fibras, determinando as direções principais 1-2, conforme ilustrado na Figura 2.2.

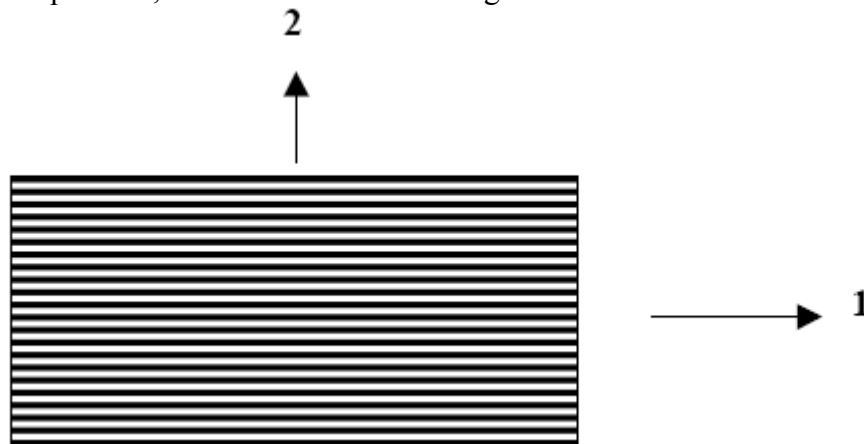


Figura 2.2 – Direções principais 1-2 em uma lâmina de compósito. (Levy Neto e Pardini, 2006).

Uma lâmina de compósito possui volume total ( $v_T$ ) de material dado por:

$$V_T = V_m + V_f + V_v \quad (1)$$

Onde:

$V_f$  = volume de fibra;

$V_m$  = volume de matriz;

$V_v$  = volume de vazios.

Sendo que o volume de vazios ( $v_v$ ) corresponde ao volume de bolhas de ar e de gases que emanam da resina durante a cura e as frações volumétricas são dadas por:

$$v_f = \frac{V_f}{V_T} \quad v_m = \frac{V_m}{V_T} \quad v_v = \frac{V_v}{V_T} \quad (2)$$

Combinando as Equações (1) e (2) tem-se:

$$v_T = v_m + v_f + v_v = 1 \quad (3)$$

Onde:

$v_f$  = fração volumétrica da fibra;

$v_m$  = fração volumétrica da matriz;

$v_v$  = fração volumétrica de vazios;

Em compósito estruturais de boa qualidade, a fração volumétrica de vazios ( $v_v$ ) deve ser necessariamente baixa. Idealmente deve ser inferior a 1%. Por esse motivo é possível desprezar a participação dessa variável e aproximar a Equação (3) para:

$$v_T = v_m + v_f = 1 \quad (4)$$

De posse das frações volumétricas de fibra e resina é possível determinar as propriedades elásticas do compósito, conforme equações que se seguem (Jones, 1975):

$$E_1 = E_m \cdot v_m + E_f \cdot v_f \quad (5)$$

$$\frac{1}{E_2} = \frac{v_m}{E_m} + \frac{v_f}{E_f} \quad (6)$$

$$v_{12} = v_m \cdot v_m + v_f \cdot v_f \quad (7)$$

$$v_{21} = \frac{v_{12} \cdot E_2}{E_1} \quad (8)$$

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{v_m}{G_m} + \frac{v_f}{G_f} \quad (9)$$

$$R = \left(1 + \frac{v_m}{v_f}\right) v_f \quad (10)$$

Onde:

$E_1$  = módulo de elasticidade do compósito na direção principal “1”;

$E_2$  = módulo de elasticidade do compósito na direção principal “2”;

$E_f$  = módulo de Elasticidade da fibra;

$E_m$  = módulo de Elasticidade da matriz;

$v_f$  = coeficiente de Poisson da fibra;

$v_m$  = coeficiente de Poisson da matriz;

$v_{12}$  = coeficiente de Poisson, devido a tensão atuando direção 1;

$v_{21}$  = coeficiente de Poisson, devido a tensão atuando direção 2;

$G_{12}$  = o módulo de cisalhamento associado ao plano 12;

$G_m$  = o módulo de cisalhamento da matriz;

$G_f$  = o módulo de cisalhamento da fibra.



Neste trabalho serão utilizados tecidos balanceados de fibra de Carbono, fibra de Vidro-E e fibra de Kevlar 49. Esse tipo de configuração apresenta tramas ou malhas perpendiculares, com número idêntico de cabos de fibras em ambas as direções, proporcionando-lhes valores aproximadamente iguais das propriedades nas direções principais, permitindo as seguintes aproximações. (Levy Neto, 1991).

$$E_1 = E_2 \quad (11)$$

$$\nu_{21} = \nu_{12} \quad (12)$$

### 2.1.2 Macromecânica de lâminas compósitas

As relações entre tensões e deformações para materiais isotrópicos, submetidos a estados bidimensionais (2-D) e tridimensionais de tensões (3-D), no regime elástico, são válidas em qualquer direção e independem do sistema de coordenadas ortogonal que se utilize.

Já as propriedades elásticas de uma lâmina ortotrópica, determinada pelas constantes elásticas  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $G_{12}$ ,  $\nu_{12}$ , e  $\nu_{21}$ , são válidas somente no sistema de coordenadas principal do material (1,2). Quando se fabrica um componente compósito, utiliza-se um sistema de coordenadas baseado em letras. Por exemplo, (X,Y) para uma placa plana.

Para o caso de um compósito em que suas fibras sejam orientadas inclinadas em relação ao eixo longitudinal da peça (direção X), é importante determinar as relações entre tensões e deformações nas direções longitudinal e transversal (X, Y) que serão diferentes das relações no sistema de coordenadas (1,2).

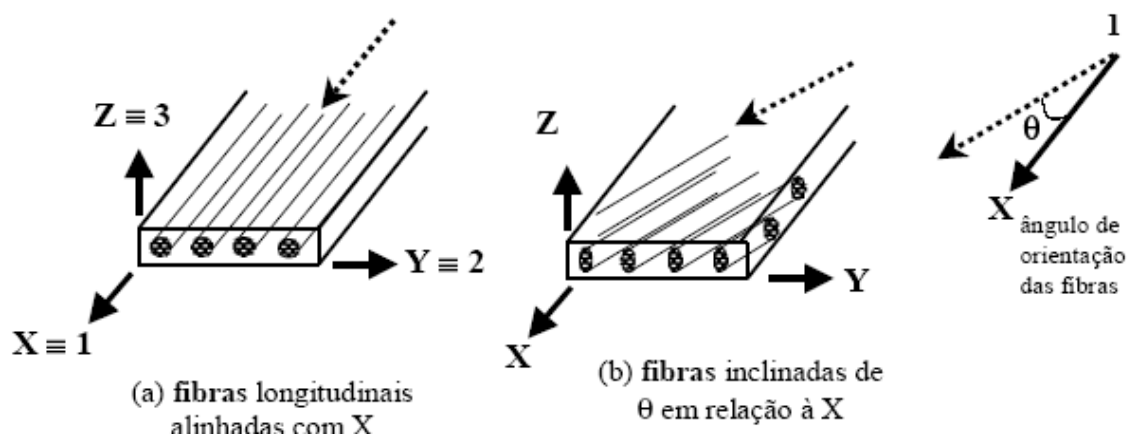


Figura 2.3 – Sistemas de coordenadas (1,2,3) e (X,Y,Z). (Levy Neto e Pardini, 2006).

As equações que se seguem fornecem as tensões e deformações nas direções 1 e 2, conforme a convenção adotada na Figura 2.3

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad (13)$$

$$Q_{11} = \frac{E_1}{(1 - \nu_{12}\nu_{21})} \quad (14)$$

$$Q_{22} = \frac{E_2}{(1 - \nu_{12}\nu_{21})} \quad (15)$$

$$Q_{12} = \frac{\nu_{12}E_2}{(1 - \nu_{12}\nu_{21})} = Q_{21} = \frac{\nu_{21}E_1}{(1 - \nu_{12}\nu_{21})} \quad (16)$$

$$Q_{66} = G_{12} \quad (17)$$

Onde:

$\sigma_1$  = tensão normal que atua na direção 1;

$\sigma_2$  = tensão normal que atua na direção 2;

$\tau_{12}$  = tensão de cisalhamento que atua no plano 1-2;

$\epsilon_1$  = deformação normal na direção 1;

$\epsilon_2$  = deformação normal na direção 2;

$\gamma_{12}$  = deformação de cisalhamento no plano 1-2;

$E_1$  = módulo de Elasticidade da lâmina na direção 1;

$E_2$  = módulo de Elasticidade da lâmina na direção 2;

$\nu_{12}$  = coeficiente de Poisson na direção 2, devido a tensão atuando direção 1;

$\nu_{21}$  = coeficiente de Poisson na direção 1, devido a tensão atuando direção 2;

$G_{12}$  = módulo de cisalhamento associado ao plano 1-2.

As relações que permitem a conexão entre os dois sistemas de coordenadas são dadas por:

Para o cálculo das tensões e deformações em quaisquer direções ortogonais x e y, onde x faz um ângulo  $\theta$  com a direção 1, faz-se necessário a utilização da matriz de transformação T, conforme a Equação (18) (Jones,1975).

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 2.\sin\theta.\cos\theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -2.\sin\theta.\cos\theta \\ -\sin\theta.\cos\theta & \sin\theta.\cos\theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix} \quad (18)$$

Combinando as Equações (13) a (18) e adotando o procedimento detalhado em Jones (1975), tem-se:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_{xy} \end{Bmatrix} \quad (19)$$

Onde:

$$\bar{Q} = [T]^{-1}[QRT][R]^{-1} = [T]^{-1}[Q][T]^{-T} \quad \text{e} \quad [T]^{-1}[Q][R][T][R]^{-1} = [T]^{-1}[Q][T]^{-T} \quad (20)$$

Sendo que os superíndices  $-1$  e  $T$  indicam a inversão e transposição da matriz  $[T]$  respectivamente, e  $[R]$  é a matriz de Reuter. (Jones, 1975)

## 2.2 Teoria de Cascas

A casca é definida como um corpo limitado por duas superfícies curvas, onde a distância entre as superfícies é pequena diante das outras dimensões. O lugar geométrico dos pontos igualmente distantes das superfícies é a superfície média. O segmento de reta limitado pelas superfícies, e normal à superfície média, é a espessura ( $t$ ). (Maia, 2003). No presente trabalho, os dutos consistirão de cascas cilíndricas com raio de curvatura ( $R$ ) fixo.

A relação entre o raio de curvatura da superfície média e a espessura da casca exerce um papel importante no estudo das cascas, pois sendo  $R \gg t$  a casca se diz fina ou delgada, do contrário, ela é classificada como espessa.

Essa classificação em delgadas ou espessas é de fundamental importância, pois se tratando cascas finas, a análise de dá de forma mais simplificada. Em particular, para as cascas finas, pode-se desprezar os efeitos devido ao cisalhamento transversal.

As tensões atuantes num elemento de casca são consideradas agindo no plano médio da superfície, dando origem às resultantes de tensão e de momentos, conforme ilustrados na Figura 2.4.

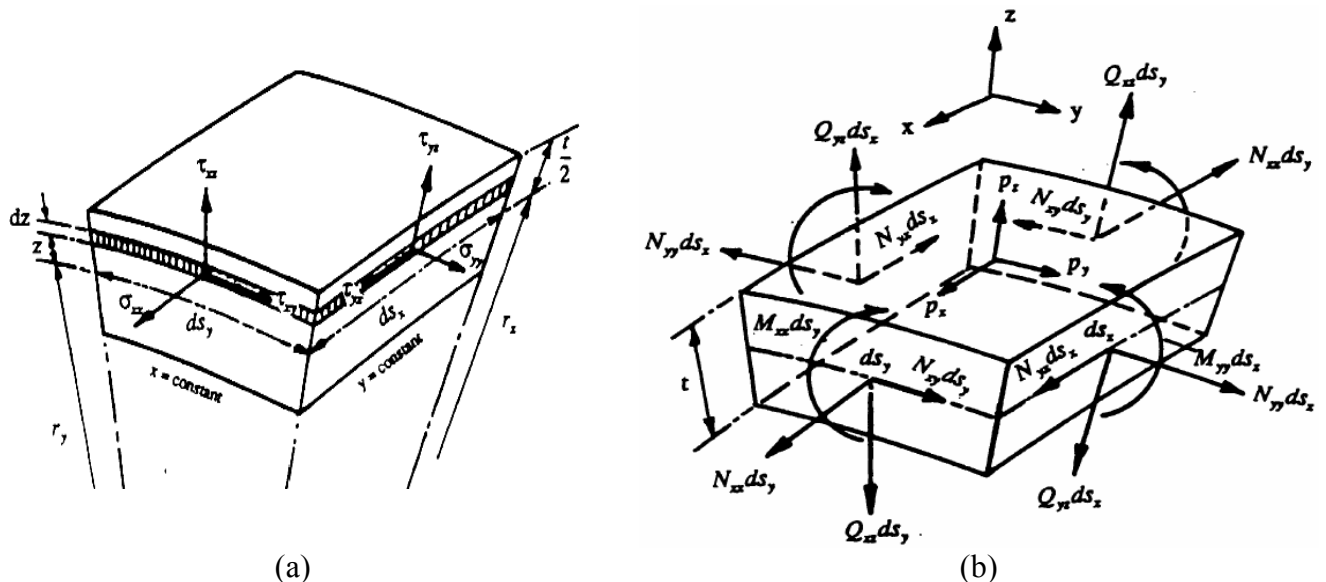


Figura 2.4 – (a) Tensões atuantes em um elemento de casca e (b) Resultantes de tensão e momento em um elemento de casca (Levy Neto e Pardini, 2006).

As equações que representam esses esforços são dadas por: (Kraus,1967).

$$N_{xx} = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_{xx} \cdot \frac{(r_y + z)}{r_y} dz \quad (21)$$

$$N_{yy} = \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_{yy} \cdot \frac{(r_x + z)}{r_x} dz \quad (22)$$

$$N_{xy} = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{xy} \cdot \frac{(r_y + z)}{r_y} dz \quad (23)$$

$$N_{yx} = \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{yx} \cdot \frac{(r_x + z)}{r_x} dz \quad (24)$$

$$Q_{yx} = - \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{yz} \cdot \frac{(r_x + z)}{r_x} dz \quad (25)$$

$$Q_{xx} = - \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{xz} \cdot \frac{(r_y + z)}{r_y} dz \quad (26)$$

$$M_{xx} = - \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_{xx} \cdot \frac{(r_y + z)}{r_y} z dz \quad (27)$$

$$M_{yy} = - \int_{-t/2}^{t/2} \sigma_{yy} \cdot \frac{(r_x + z)}{r_x} z dz \quad (28)$$

$$M_{xy} = - \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{xy} \cdot \frac{(r_y + z)}{r_y} z dz \quad (29)$$

$$M_{yx} = - \int_{-t/2}^{t/2} \tau_{yx} \cdot \frac{(r_x + z)}{r_x} z dz \quad (30)$$

Onde:

$N_{xx}$  = resultante de tensão na direção x;

$N_{yy}$  = resultante de tensão na direção y;

$N_{xy}$  = resultante de tensão de cisalhamento nos planos yz;

$N_{yx}$  = resultante de tensão de cisalhamento nos planos xz;

$Q_{yx}$  = resultante de tensão de cisalhamento transversal nos planos xz;

$Q_{xx}$  = resultante de tensão de cisalhamento transversal nos planos yz;

$M_{xx}$  = resultante de momento fletor na direção x;

$M_{yy}$  = resultante de momento fletor na direção y;

$M_{xy}$  = resultante de momento torçor na direção x;

$M_{yx}$  = resultante de momento torçor na direção y;

Entretanto, quando se utiliza a teoria de membrana (Kraus, 1967) em elementos de casca, admitindo que as deformações são pequenas, por simplificação e aproximação despreza-se os momentos fletores e torçores, e tem-se:

$$M_{xx} = 0; \quad M_{yy} = 0; \quad M_{xy} = 0; \quad M_{yx} = 0;$$

Por equilíbrio de forças tem-se:

$$N_{xy} = N_{yx} \quad Q_{yx} = 0; \quad Q_{xx} = 0;$$

Restando apenas três equações, simplificando a análise:

$$N_{xx}; \quad N_{yy}; \quad N_{xy} = N_{yx}$$

Aplicando essa teoria aos tubos cilíndricos, consideramos que, quando estes são expostos a pressões internas (p), surgem tensões em três direções principais: axial, radial e tangencial.

- Tensão axial ( $\sigma_a$ )= na direção do eixo axissimétrico, conforme Figura 2.5(b);
- Tensão radial = no sentido da espessura;
- Tensão tangencial ou circunferencial ( $\sigma_c$ )= circunferencialmente à superfície cilíndrica, perpendicular à espessura, conforme Figura 2.5(a).

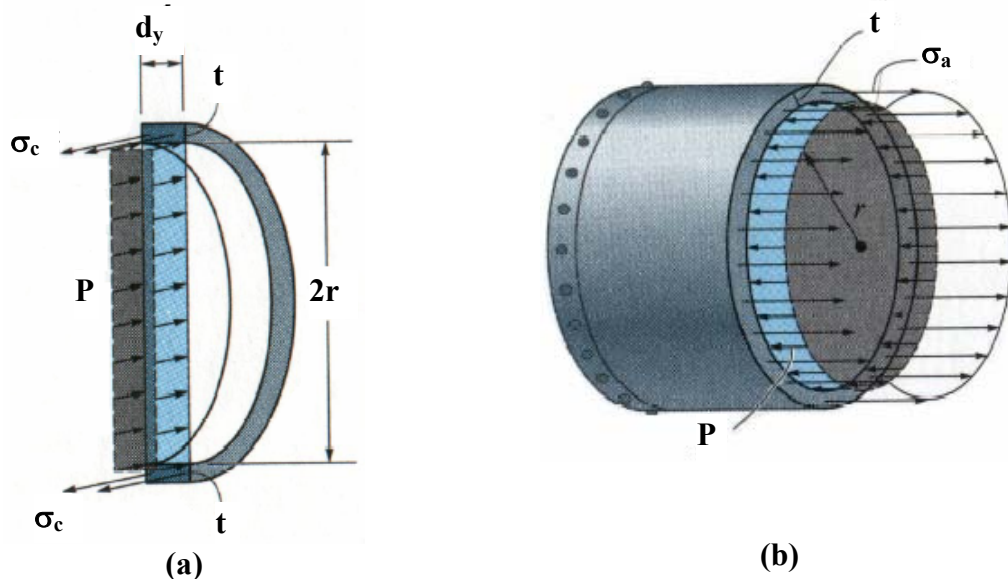


Figura 2.5 – Diagrama de corpo livre de um segmento de tubo cilíndrico (Maia, 2003).

Pela Figura 2.5(a) e (b), impondo-se as equações de equilíbrio de forças, tem-se:

$$2.\sigma_c.t.dy = P.2r.dy \qquad \sigma_c = \frac{P.r}{t} \qquad (31)$$

$$\sigma_a.t.2\pi.r = P.\pi.r^2 \qquad \sigma_a = \frac{P.r}{2t} \qquad (32)$$

Onde:

$\sigma_c$  = tensão tangencial ou circunferencial;

$\sigma_a$  = tensão axial.

Quando se analisa um tubo cilíndrico de parede fina, sob pressão interna, este é considerado sujeito a um estado plano de tensão, pois se assume que a tensão radial é nula, restando a tensão axial e a tangencial, sendo essa última a mais crítica, em decorrência de sua magnitude. Quanto mais fino é o duto, maior a relação (r/t) e mais satisfatória é a teoria da membrana. Uma síntese referente às simplificações da teoria das membranas é apresentada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Características dos tubos de parede fina. (Maia, 2003).

<b>Características</b>	<b>Tubo de Parede Fina</b>
Condição para validade da teoria	$D_i/t > 20$
Tratamento analítico	Simples, por aproximação.
Estado de tensão	biaxial
Tensão radial	nula
Tensão tangencial	uniforme
Tensão axial	uniforme

## 2.3 Elementos Finitos

Os problemas teóricos de engenharia normalmente são resolvidos, principalmente, por três formas distintas: (i) por equações diferenciais (envolvendo a solução geral, particular, as condições iniciais, e de contorno); (ii) pelo método das diferenças finitas e (iii) pelo método dos elementos finitos. Entretanto, há situações nas quais, devido à complexidade do problema, ou pela dificuldade de se lidar com as condições de contornos ou condições iniciais, não se podem obter soluções exatas. Nestes casos, a solução deve ser aproximada, e um dos métodos indicados é o dos elementos finitos (Moaveni, 1999).

Esse procedimento numérico sofisticado consiste na utilização de elementos equivalentes discretizados, permitindo a solução de uma enorme variedade de problemas, avaliando a estrutura integral como resultante da contribuição e compatibilidade de diversos elementos, representando-a como um conjunto de componentes estruturais discretos conectáveis.

Sendo assim, o comportamento de um elemento individual pode ser descrito por um simples sistema de equações. Esses elementos discretizados e solucionáveis através de equações lineares se ligam a outros elementos, formando uma grande quantidade de equações, as quais descreverão o comportamento de toda a estrutura.

Dessa forma, quanto maior a quantidade de elementos utilizada para representar a estrutura, isto é, quanto melhor o refinamento e a convergência da malha, mais fiel será o resultado.

Entretanto é importante destacar que existe um número mínimo de elementos utilizados que permite a convergência da malha e que a utilização de número muito superior a este, além de não acrescentar significativa diferença nos resultados, confronta a capacidade computacional existente, exigindo processadores mais potentes.

Os elementos mais utilizados são os triangulares e quadriláteros (2D) e tetraédricos e paralelepípedos (3D), que são conectados por nós, localizados nos cantos e ao longo dos lados dos elementos.

### 2.3.1 COMPSHELL

O COMPSHELL é um programa computacional que utiliza o “Método dos Elementos Finitos” (MEF), baseado na teoria de cascas finas axissimétricas, utilizando apenas elementos de cascas (Levy Neto, 1991).

Baseia-se na teoria geométrica não linear de cascas, permitindo deformações moderadamente grandes, comportamento ortotrópico e casca fina ( $D/t > 20$ ) aproximando a análise tridimensional (3D) para bidimensional (2D) equivalente.

O programa assume que a casca é axissimétrica composta por camadas, onde cada camada possui características próprias e qualquer orientação de reforço.

No COMPSHELL a estrutura é dividida em segmentos, que por sua vez são formados por anéis axissimétricos discretizados em elementos, ao longo da direção longitudinal. Os anéis possuem dois nós, um em cada extremidade, representando os elementos da estrutura, conforme ilustra a Figura 2.6.

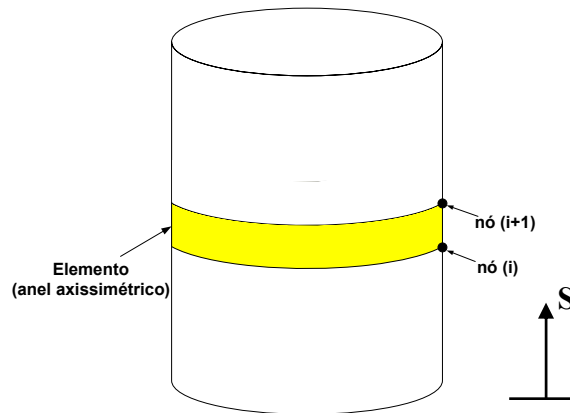


Figura 2.6 - Representação de um elemento finito de casca axissimétrica.

Em relação à superfície média do elemento, cada nó possui quatro graus de liberdade:

- 03 (três) de translação – meridional ( $u$  - acompanha a direção “s” do contorno do corpo); circunferencial ( $v$  - tangencia circunferencialmente a casca.); e radial ou normal ( $w$  - acompanha a direção radial).
- 01 (um) de rotação - meridional ( $\beta$ ), indica a magnitude de rotação no plano formado pelas direções meridional e radial.

A Figura 2.7 ilustra os graus de liberdade mencionados.

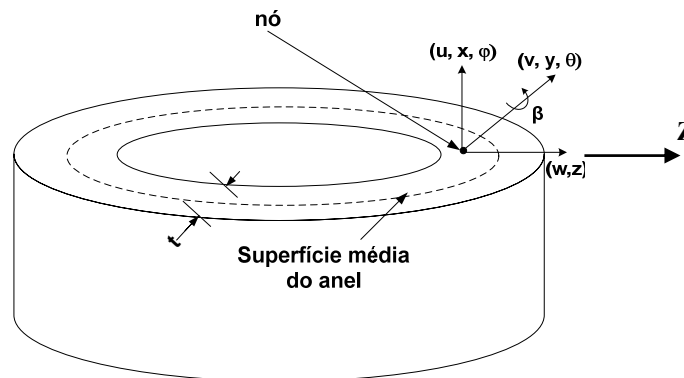


Figura 2.7 - Graus de liberdade de um elemento finito de casca axissimétrica.

O programa permite que se analise a estrutura quanto à falha, sob diversos critérios, para geometrias cilíndricas, cônicas, esféricas ou toroidais, combinadas ou não.

Para cada segmento, torna-se necessário informar:

- A quantidade de camadas;
- As coordenadas meridional e radial, inicial e final do segmento (coordenada S);
- As propriedades da camada;
- A espessura de cada camada (coordenada Z).



O arquivo de saída do COMPSHELL fornece, para todos os nós da malha de elementos finitos:

- Deslocamentos de translação, nas direções axial (u) e radial (w);
- Deslocamentos de rotação;
- Resultantes de tensão, meridionais e circunferenciais;
- Resultantes de momento, meridionais e circunferenciais.

Todos esses parâmetros são fornecidos longo da estrutura, calculados em relação à superfície média da casca, para cada nó dos elementos.

Sendo a deformação resultante do deslocamento de uma medida original, de posse dos deslocamentos e desses comprimentos originais, obtêm-se os valores das deformações, através das seguintes combinações:

- Deslocamentos meridionais e os comprimentos dos segmentos definidos no COMPSHELL = deformações meridionais;
- Deslocamentos normais e o raio médio dos tubos simulados = deformações normais.

Neste trabalho serão simuladas análises estáticas em corpos cilíndricos, sob pressão interna, no domínio elástico, admitindo o tubo bi-engastado nas extremidades.

No programa Compshell é utilizada a Teoria Clássica de Laminados Compósitos, na qual as resultantes de tensão devido ao cisalhamento transversal, definidas pelas Equações (25) e (26) são desprezadas.

Neste contexto, as resultantes de tensão no plano ( $N_{xx}$ ,  $N_{yy}$ ,  $N_{xy}$ ), definidas pelas Equações (21), (22) e (23), e as resultantes de momentos ( $M_{xx}$ ,  $M_{yy}$ ,  $M_{xy}$ ), definidas pelas Equações (27), (28) e (29), relacionam-se com as deformações e variações de curvatura do plano médio do laminado, através da equação matricial a seguir: (Jones, 1975).

$$\begin{Bmatrix} N_{xx} \\ N_{yy} \\ N_{xy} \\ M_{xx} \\ M_{yy} \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} & B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} & B_{16} & B_{26} & B_{66} \\ B_{11} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} & D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} & D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_{x0} \\ \epsilon_{y0} \\ \gamma_{x0y0} \\ \kappa_{x0} \\ \kappa_{y0} \\ \kappa_{x0y0} \end{Bmatrix} \quad (33)$$

Onde:

[A] = matriz de rigidez no plano, relaciona tensões normais de membrana com deformações normais;

[B] = matriz de acoplamento, só existe devido à não simetria da placa;

[D] = matriz de rigidez à flexão / torção.

As definições dos elementos finitos das submatrizes [A] de extensão, [B] de acoplamento e [D] de rigidez à flexão e a torção, na Equação (33), podem ser obtidas na literatura. (Jones, 1975; Gibson, 1994 e Maia, 2003).

### 3. METODOLOGIA E ANÁLISE NUMÉRICA

Com o objetivo de avaliar o comportamento mecânico de dutos reparados com materiais compósitos, através de simulações com elementos finitos, é necessário garantir que o modelo utilizado represente com fidelidade o duto original.

Com essa finalidade foi realizada a análise de convergência que consiste na validação do modelo proposto, comparando seus resultados com valores experimentais existentes na literatura.

Foram realizadas simulações através de um modelo de elementos finitos, utilizando o programa COMPSHELL, para as mesmas configurações de tubos utilizados na análise experimental (Maia, 2003). Todos os tubos foram fechados, engastando suas extremidades em tampas planas circulares.

Os resultados das simulações foram comparados com os obtidos experimentalmente, no que diz respeito às deformações circunferenciais.

#### 3.1 Análise de Convergência

Na análise experimental considerada (Maia, 2003), foram ensaiados 6 (seis) tubos fabricados a partir de ligas de alumínio 6063-T5, sendo destes 2 (dois) íntegros, 1 (um) desbastado e 3 (três) desbastados e reparados com tecido balanceado de fibra de carbono HS em diferentes frações volumétricas e resina epóxi de cura a frio, conforme listado na Tabela 3.1. Nos tubos desbastados, foi retirado 25% da espessura original ( $t$ ), em trechos de 100 mm na região central.

Tabela 3.1 – Configuração dos tubos ensaiados. (Maia, 2003)

Tubo	Comprimento L (mm)	D. Externo $d_{ext}$ (mm)	D. Interno $d_{int}$ (mm)	Espessura (mm)	Desbaste	Reparo
01	1000	101,36	97,36	2,0	Íntegro	-
02	1000	80,35	76,15	2,1	Íntegro	-
03	1000	80,35	76,15	2,1	Desbastado	Sem reparo
04	1000	101,36	97,36	2,0	Desbastado	27% fibra
05	1000	80,35	76,15	2,1	Desbastado	23% fibra
06	1000	80,35	76,15	2,1	Desbastado	50% fibra

Os tubos 01 e 02 foram mantidos íntegros, sendo representados pela Figura 3.1.

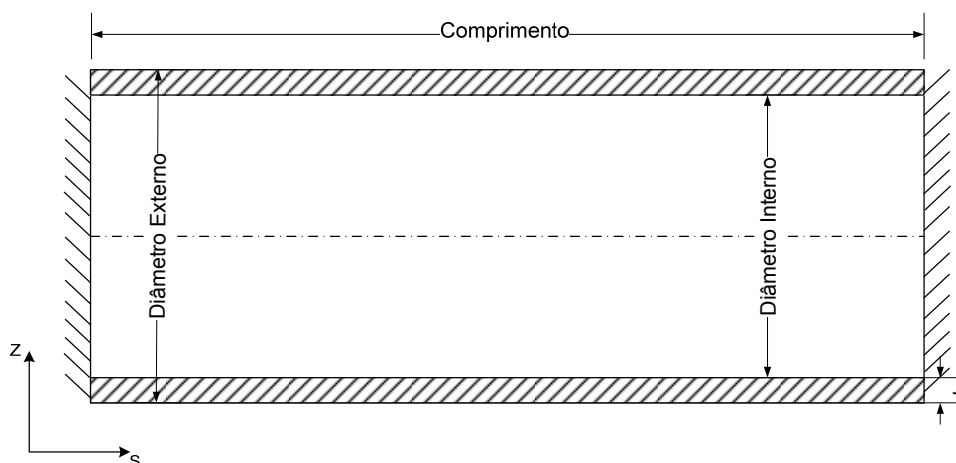


Figura 3.1 – Representação dos tubos íntegros 01 e 02.

Os tubos 03, 04, 05 e 06 sofreram desbaste na região central de extensão 100mm, apresentando posteriormente as dimensões representadas na Tabela 3.2. na coluna da direita são apresentadas as espessuras remanescentes após os desbastes na região central conforme Figura 3.2.

Tabela 3.2 - Dimensões dos tubos desbastados – medidas referentes à região desbastada.

Tubo	D. Externo Região desbastada (mm)	D. Interno Região desbastada (mm)	Espessura Região desbastada (mm)
03	79,35	76,15	1,6
04	100,36	97,36	1,5
05	79,35	76,15	1,6
06	79,35	76,15	1,6

O tubo 03 fora apenas desbastado, de forma a avaliar o efeito do desbaste na resistência à pressão interna, conforme ilustrado na Figura 3.2. A extensão do desbaste é de 100 mm.

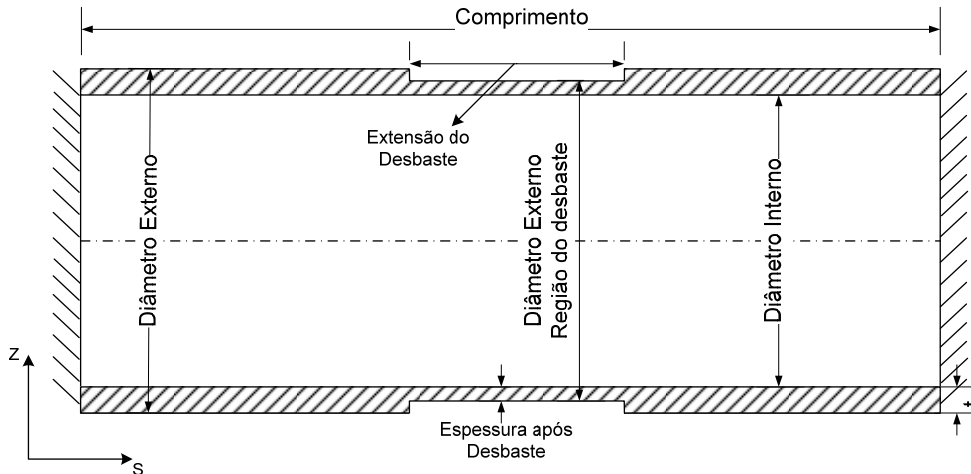


Figura 3.2 – Representação do tubo desbastado sem reparo.

Os tubos 04, 05 e 06 sofreram desbaste e posterior reparo com carbono/epóxi com 27%, 23% e 50% de fração volumétrica de fibra, respectivamente. Esses tubos são ilustrados na Figura 3.3 e as propriedades mecânicas dos reparos são listadas na Tabela 3.3.

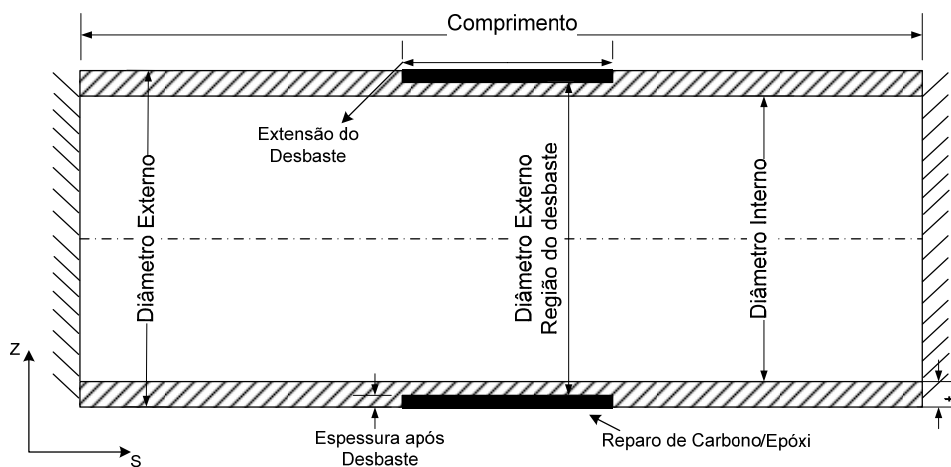


Figura 3.3 – Representação do tubo desbastado e reparado 06.

Tabela 3.3 - Propriedades mecânicas dos reparos aplicados. (Maia, 2003)

<b>Tubo</b>	<b>% fibra v</b>	<b>% resina v</b>	<b>E<sub>1</sub> = E<sub>2</sub> (GPa)</b>	<b>v<sub>12</sub> = v<sub>21</sub></b>	<b>G<sub>12</sub> (GPa)</b>
04	27	73	36,605	0,19	1,864
05	23	77	31,525	0,21	1,684
06	50	50	65,180	0,05	4,663

Utilizou-se tecido balanceado de fibra de carbono AG370-8H, que possui tramas ou malhas perpendiculares, com número idêntico de cabos de fibras nestas direções, justificando a aproximação dos valores das propriedades nas direções principais. Em todos os reparos utilizou-se resina epóxi como matriz.

Todos os tubos foram submetidos à pressão interna suficiente para execução das leituras de deformação, limitando-se ao regime elástico. As propriedades mecânicas da liga de alumínio do tubo encontram-se listadas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Propriedades mecânicas dos materiais utilizados. (Maia, 2003)

<b>Propriedade</b>	<b>Liga Al 6063-T5</b>	<b>Carbono / Epóxi 50%</b>
E <sub>1</sub> = E <sub>2</sub> (GPa)	70,307	65,180
v <sub>12</sub> = v <sub>21</sub>	0,33	0,05
G <sub>12</sub> (GPa)	26,365	4,663
X <sub>1T</sub> (MPa)	112	617,60
X <sub>1C</sub> (MPa)	112	465,40
X <sub>2T</sub> (MPa)	112	617,60
X <sub>2C</sub> (MPa)	112	465,40
S <sub>12</sub> (MPa)	91	78,20
ρ (g/mm <sup>3</sup> )	0,0027	0,0016

Onde:

X<sub>1T</sub> = resistência à tração – direção 1

X<sub>1C</sub> = resistência à compressão – direção 1

X<sub>2T</sub> = resistência à tração – direção 2

X<sub>2C</sub> = resistência à compressão – direção 2.

S<sub>12</sub> = resistência ao cisalhamento no plano.

ρ = densidade do material.

Para a liga de alumínio, X<sub>1T</sub> = X<sub>1C</sub> = X<sub>2T</sub> = X<sub>2C</sub> = σ<sub>esc</sub> (tensão de escoamento).

### 3.1.1 Análise Experimental - Resultados

Os tubos foram submetidos a vários valores de pressão, apresentando assim diferentes deformações circunferenciais. Esses valores estão listados na Tabela 3.5

Tabela 3.5 – Deformações circunferenciais (Maia, 2003)

<b>Pressão Interna (MPa)</b>	<b>Tubo 01 <math>\epsilon_c (10^{-6})</math></b>	<b>Tubo 03 <math>\epsilon_c (10^{-6})</math></b>	<b>Tubo 06 <math>\epsilon_c (10^{-6})</math></b>
0,1 (1 bar)	26	28	23
0,2 (2 bar)	57	59	44
0,3 (3 bar)	82	91	68
0,4 (4 bar)	113	117	90
0,5 (5 bar)	140	150	111

Na análise experimental de Maia (Maia, 2003), não foram realizadas medições de deformações circunferenciais para o Tubo 02, apenas medições de deformações longitudinais e os resultados obtidos para o Tubo 04 e Tubo 05 foram ignorados por apresentarem problemas durante a medição.

### 3.1.2 Simulação Numérica - COMPSHELL

Para a análise de convergência, foram mantidas a nomenclatura, dimensões e propriedades mecânicas utilizadas na análise experimental de forma a facilitar a identificação e permitir comparação entre os valores obtidos.

Entretanto, a simulação numérica através do COMPSHELL resulta em valores de deslocamento radial ( $w$ ) e não de deformação circunferencial ( $\epsilon_c$ ) como na análise experimental. De forma a permitir a comparação, foi considerada a seguinte relação matemática entre deslocamento radial e deformação circunferencial:

$$C = 2\pi r \quad (34)$$

Onde:

C = comprimento circunferencial.

R = raio da circunferência.

Admitindo que uma variação no raio refletisse em uma variação proporcional no comprimento circunferencial, temos:

$$\Delta C = 2\pi \Delta r \quad (35)$$

E o comprimento circunferencial final será:

$$C_f = (C_0 + \Delta C) = 2\pi(r + \Delta r) \quad (36)$$

Sendo a deformação circunferencial  $\epsilon_c$  dada por:

$$\epsilon_c = \frac{C_f - C_0}{C_0} = \frac{2\pi(r + \Delta r) - 2\pi r}{2\pi r} = \frac{2\pi r + 2\pi\Delta r - 2\pi r}{2\pi r} = \frac{\Delta r}{r} \quad (37)$$

Porém,  $\Delta r$  nada mais é senão o deslocamento radial ( $w$ ), portanto a deformação circunferencial é dada por:

$$\epsilon_c = \frac{w}{r} \quad (38)$$

Às diferentes configurações de tubos, foram aplicadas as pressões experimentais (1 a 5 bar – 0,1 a 0,5 MPa), variando o número de elementos que discretizam sua geometria.

Essa análise permite avaliar o número mínimo de elementos necessários para garantir a convergência dos valores simulados para os experimentais, neste caso, especificamente os valores obtidos para as deformações circunferenciais de cada configuração.

**a) Tubo 01 (Al01)**

Tubo íntegro de alumínio, comprimento  $L = 1000\text{mm}$ , diâmetro externo  $D_{\text{ext}} = 101,36\text{mm}$  ( $R_{\text{ext}} = 50,68\text{mm}$ ), espessura  $e = 2,0\text{mm}$ , submetido às pressões de 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 MPa (1, 2, 3, 4 e 5 bar).

Tabela 3.6 – Deslocamento máximo  $w_{\text{máx}}$  – valores em mm – Tubo 01.

Pressão (MPa)	10 elementos	20 elementos	40 elementos	60 elementos	80 elementos	100 elementos	120 elementos
0,1	1,397 E-3	1,388 E-3	1,385 E-3	1,384E-3	1,383 E-3	1,383 E-3	1,382 E-3
0,2	2,794 E-3	2,775 E-3	2,769 E-3	2,767 E-3	2,767 E-3	2,767 E-3	2,766 E-3
0,3	4,191 E-3	4,163 E-3	4,153 E-3	4,151 E-3	4,150 E-3	4,150 E-3	4,149 E-3
0,4	5,588 E-3	5,550 E-3	5,538 E-3	5,534 E-3	5,533 E-3	5,533 E-3	5,532 E-3
0,5	6,985 E-3	6,937 E-3	6,922 E-3	6,918 E-3	6,916 E-3	6,916 E-3	6,915 E-3

Aplicando os dados geométricos da Tabela 3.1 e Tabela 3.6 à equação (38), têm-se os valores de deformação circunferencial listados na Tabela 3.7, comparados com os obtidos através da análise experimental. As respectivas diferenças percentuais encontram-se listadas na Tabela 3.8.

Tabela 3.7 – Deformações circunferenciais máximas - Tubo 01.

Pressão (MPa)	Deformação Circunferencial Máxima $\epsilon_{c \text{ máx}}$ ( $10^{-6}$ )							Exp.
	10 elementos	20 elementos	40 elementos	60 elementos	80 elementos	100 elementos	120 elementos	
0,1	27,57	27,39	27,33	27,31	27,29	27,29	27,27	26
0,2	55,13	54,76	54,64	54,60	54,60	54,60	54,58	57
0,3	82,70	82,14	81,95	81,91	81,89	81,89	81,87	82
0,4	110,26	109,50	109,30	109,20	109,20	109,20	109,20	113
0,5	137,83	136,90	136,60	136,50	136,50	136,50	136,40	140

Tabela 3.8 – Diferença percentual entre os valores simulados e os experimentais - Tubo 01.

Pressão (MPa)	Deformação Circunferencial Máxima $\epsilon_{c \text{ máx}}$ ( $10^{-6}$ )		Erro %
	120 elementos	Experimental	
0,1	27,27	26,00	4,88
0,2	54,58	57,00	-4,25
0,3	81,87	82,00	-0,16
0,4	109,20	113,00	-3,40
0,5	136,40	140,00	-2,54
		<b>Erro Médio</b>	<b>-1,094</b>

Com os dados da Tabela 3.7, gerou-se os gráficos 1 a 11 que se seguem:

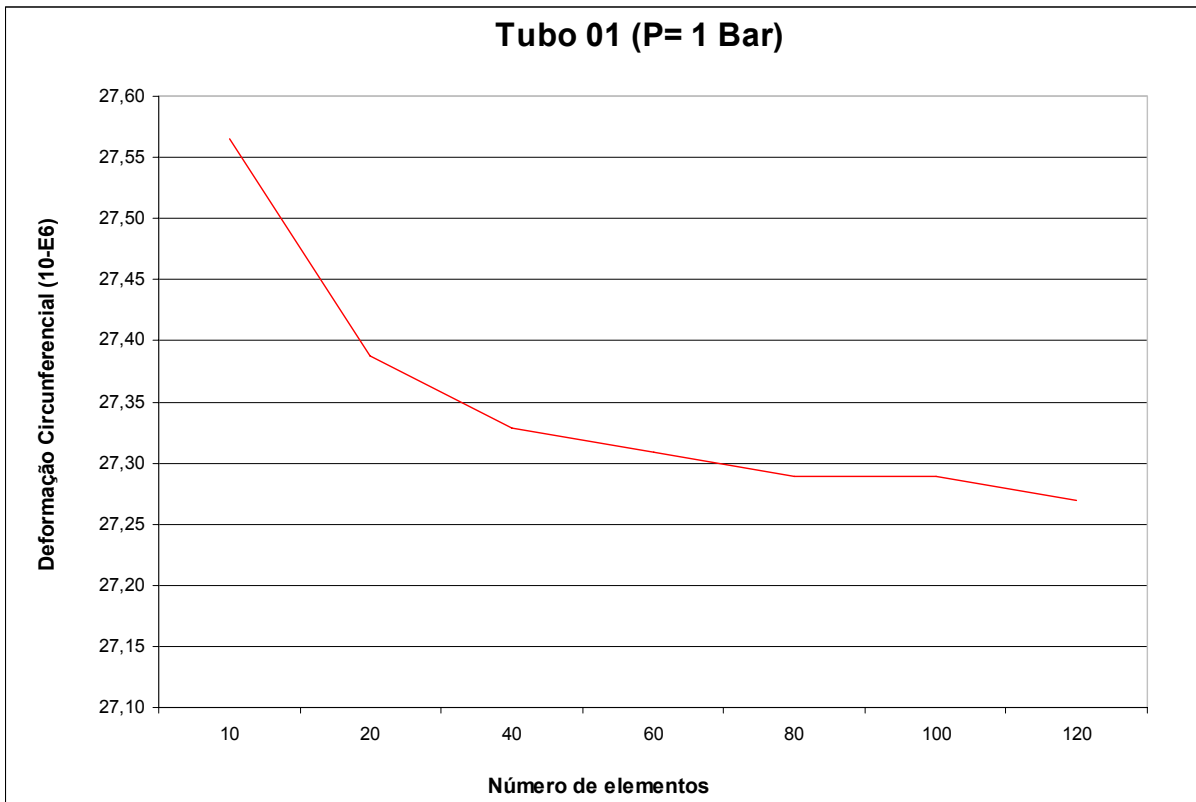


Gráfico 1 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 01 – P=1 bar

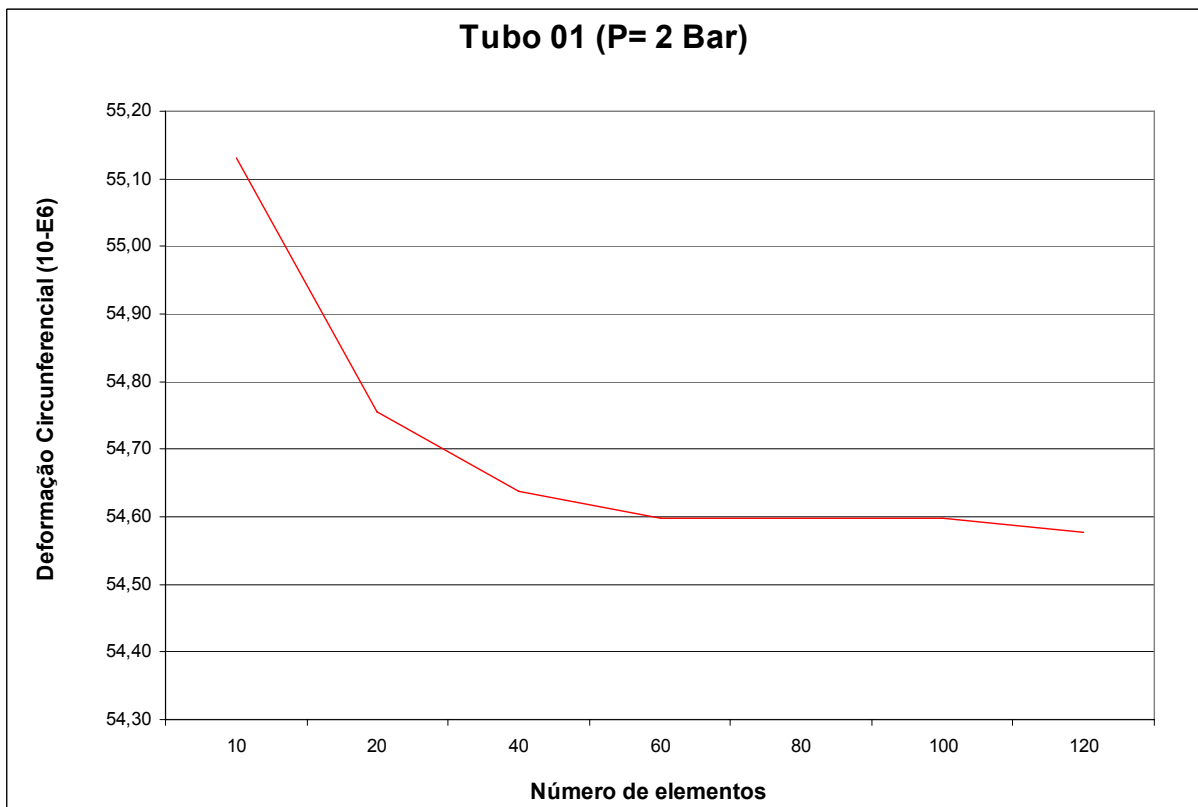


Gráfico 2 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 01 – P=2 bar



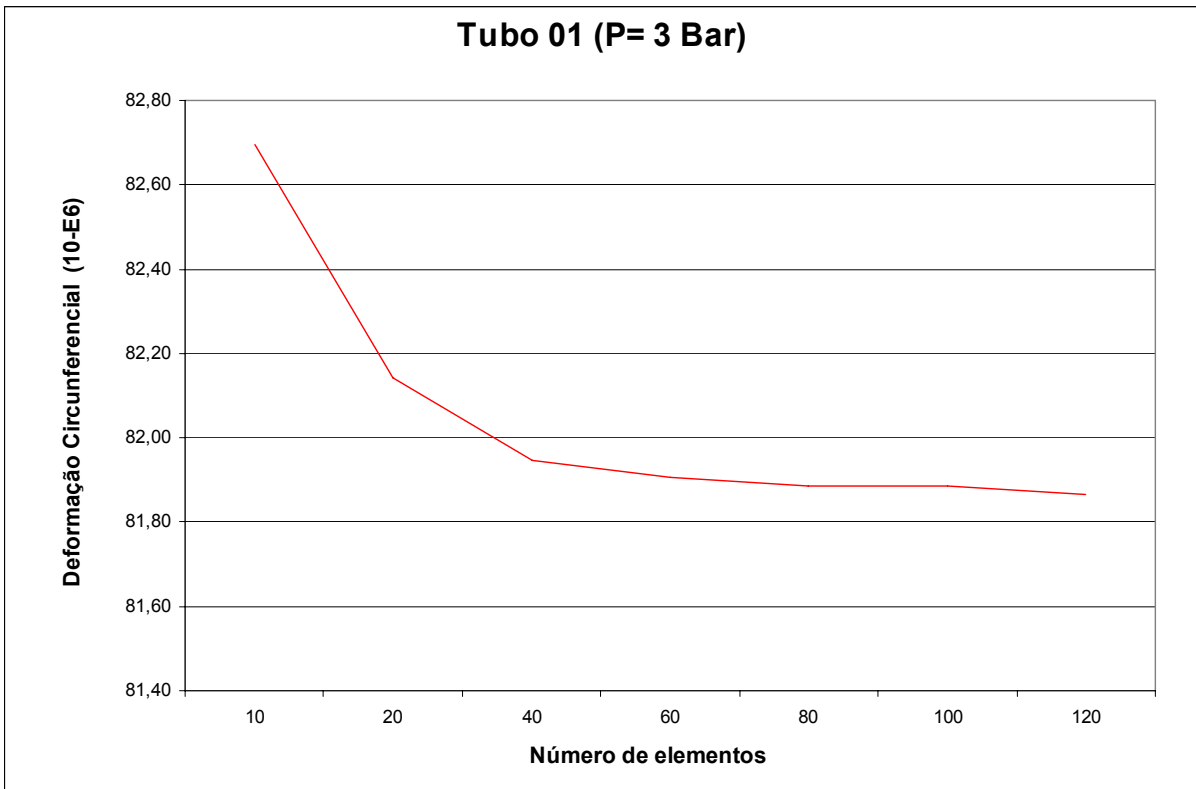


Gráfico 3 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 01 – P=3 bar

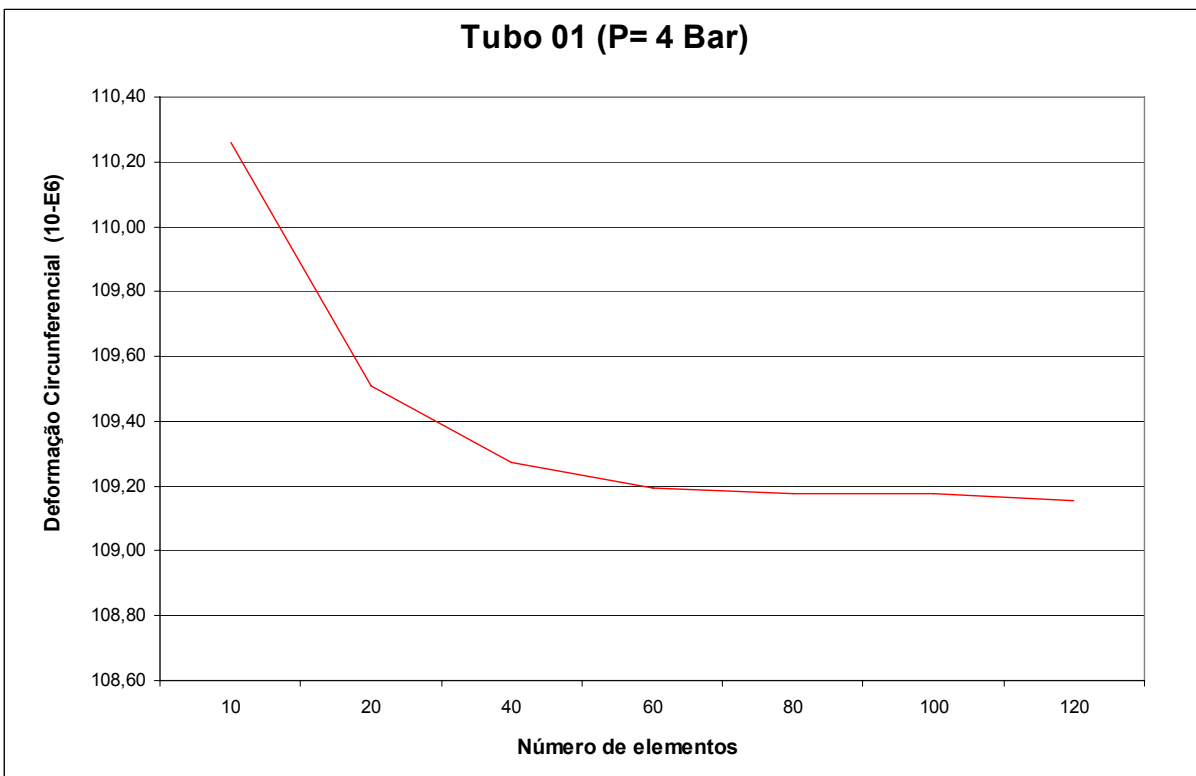


Gráfico 4 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 01 – P=4 bar

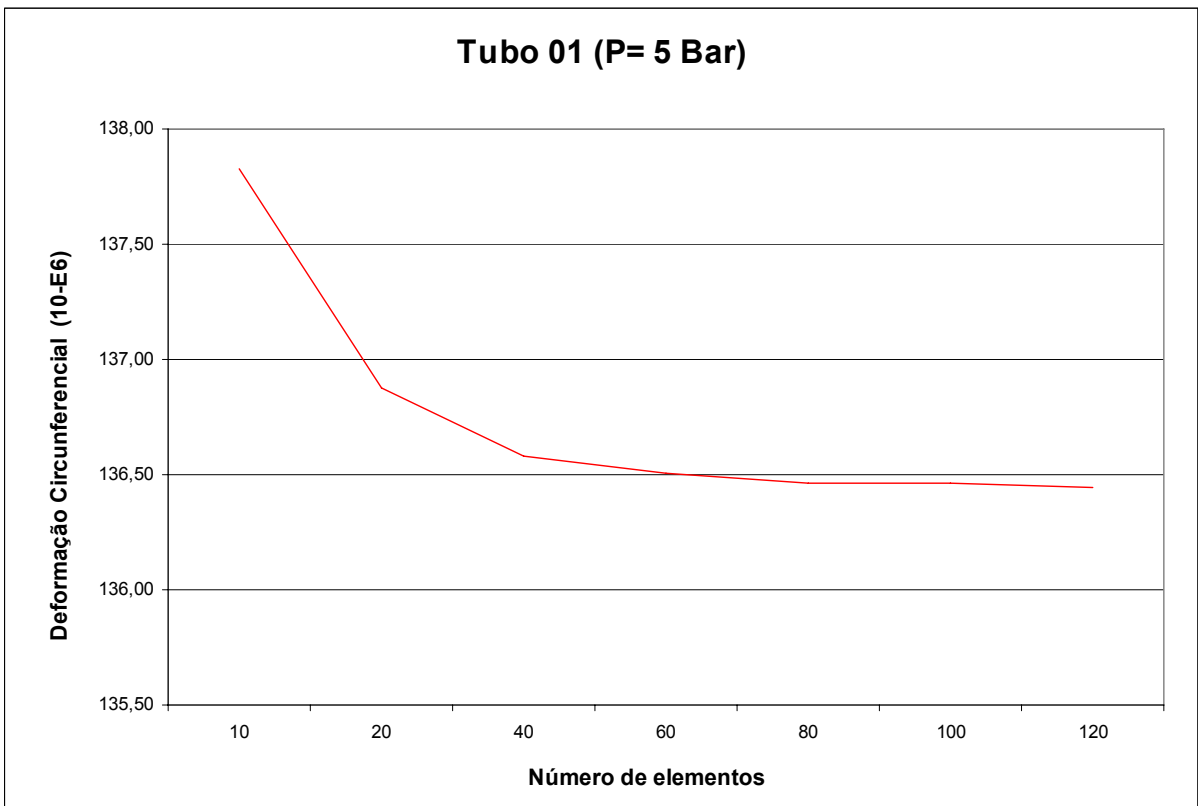


Gráfico 5 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 01 – P=5 bar

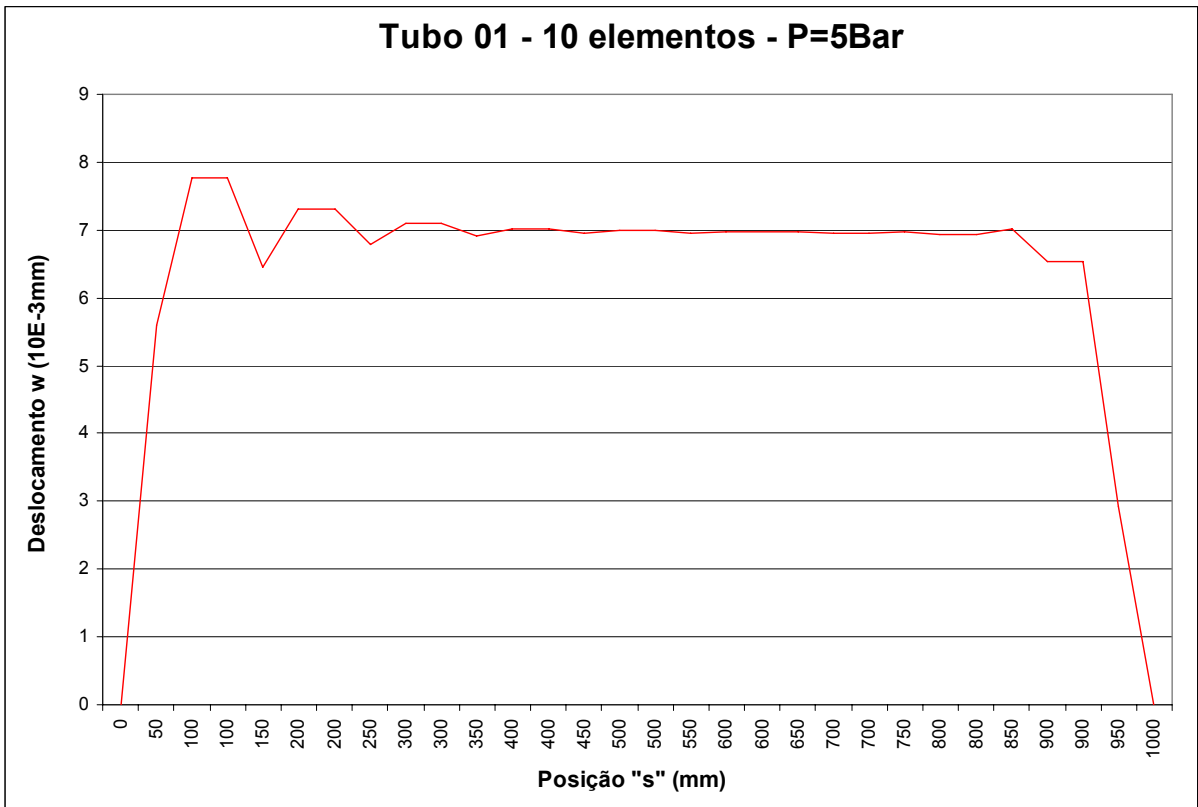


Gráfico 6 – Deslocamento radial X Posição “s” para o Tubo 01 – P=5 bar – **10 elementos**

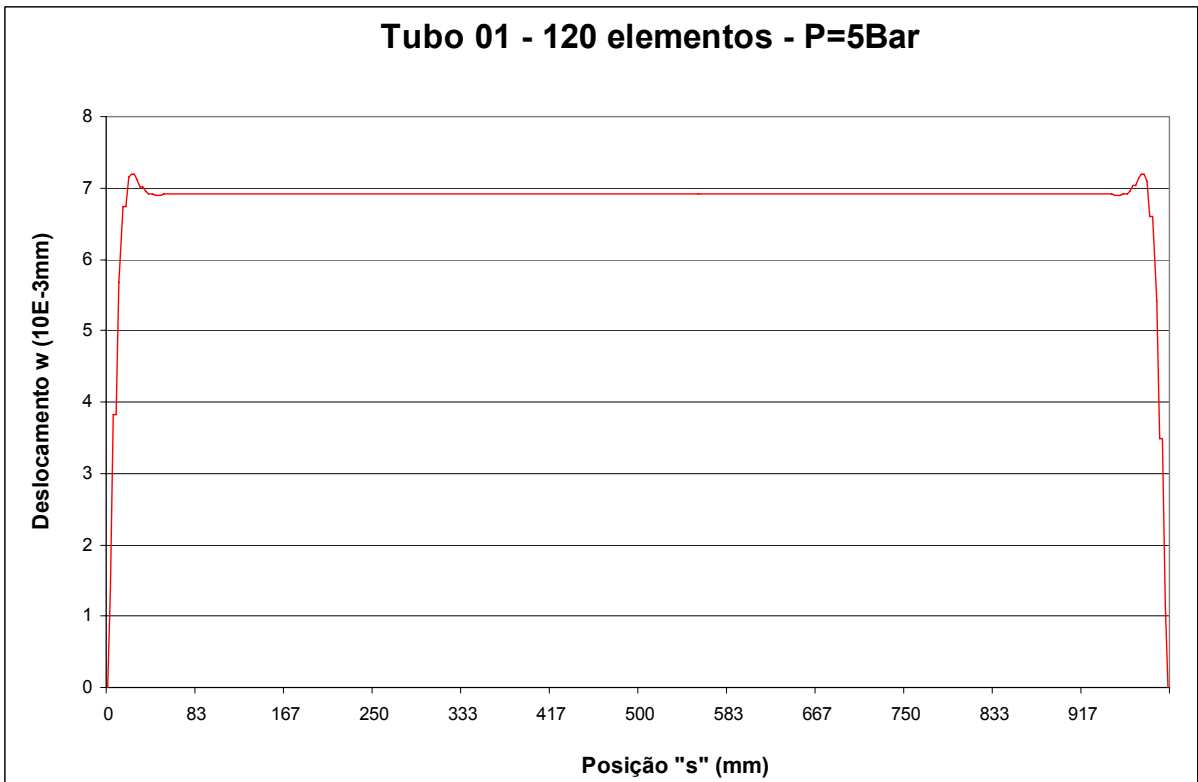


Gráfico 7 – Deslocamento radial X Posição “s” para o Tubo 01 – P=5 bar – **120 elementos**

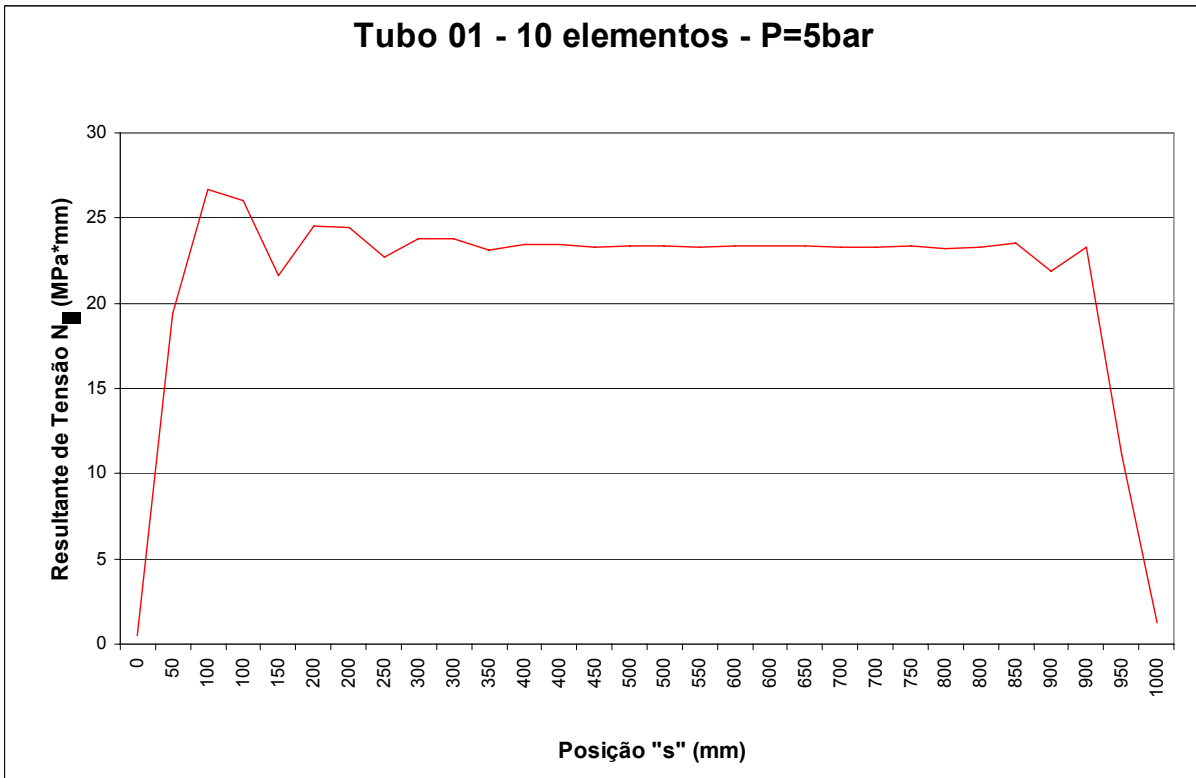


Gráfico 8 – Resultante de Tensão Circunferencial X Posição “s” para o Tubo 01 – P=5 bar – 10 elementos

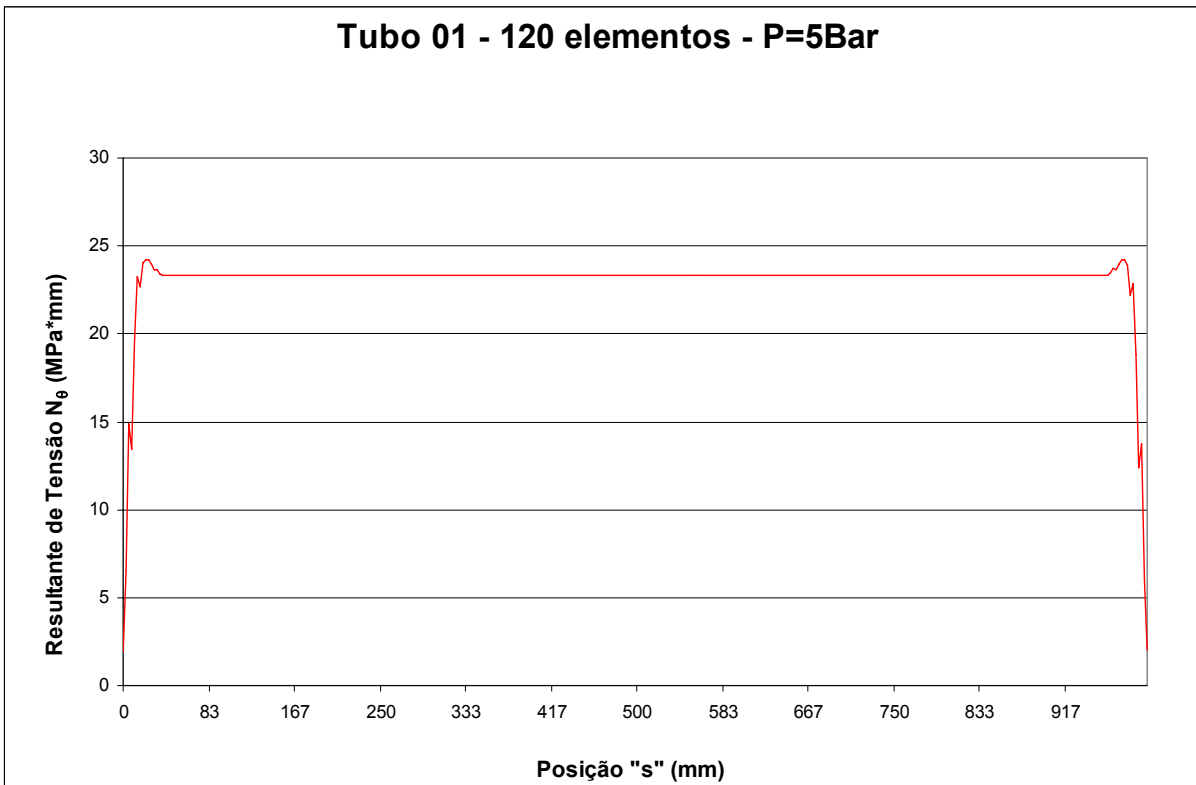


Gráfico 9 – Resultante de Tensão Circunferencial X Posição “s” para o Tubo 01 – P=5 bar – 120 elementos

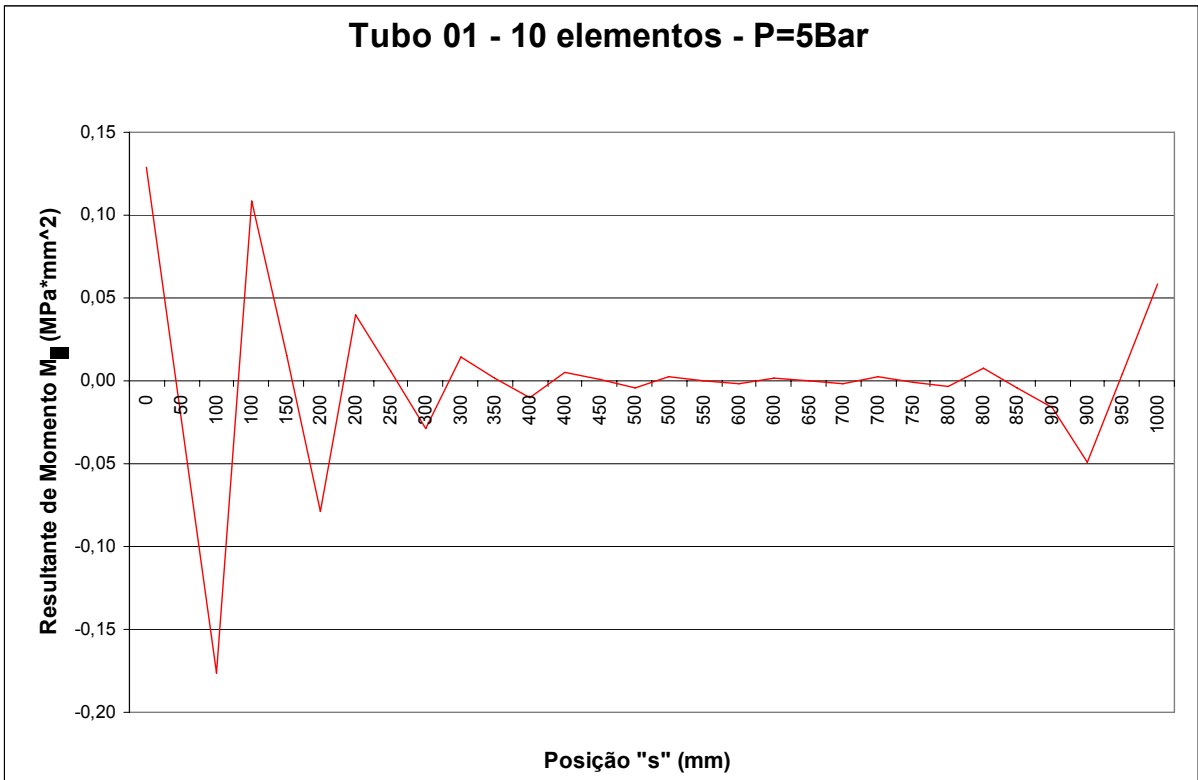


Gráfico 10 – Resultante de Momento Fletor Circunferencial X Posição “s” para o Tubo 01 – P=5 bar – 10 elementos

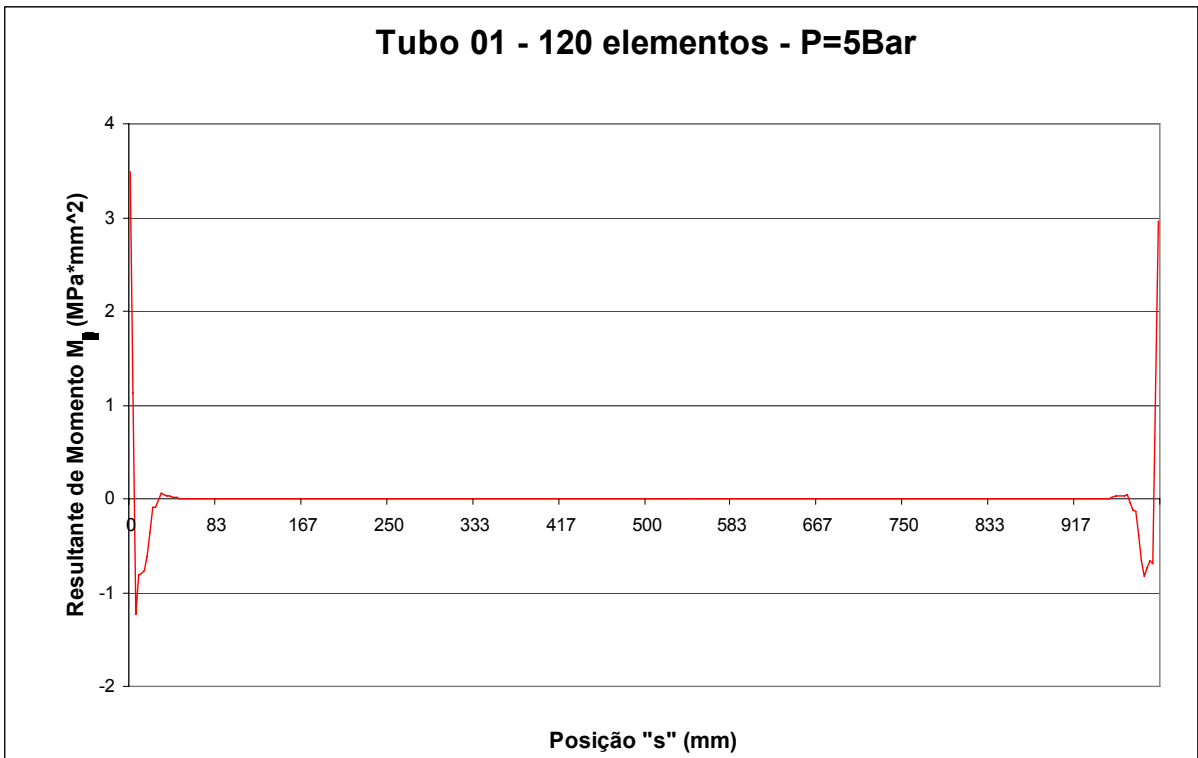


Gráfico 11 – Resultante de Momento Fletor Circunferencial X Posição “s” para o Tubo 01 – P=5 bar – 120 elementos

**b) Tubo 03 (Al03)**

Tubo de alumínio desbastado em 100mm na região central, sem reparo, de comprimento  $L = 1000$  mm, diâmetro externo na região íntegra  $D_{ext} = 80,35$ mm e espessura  $e = 2,1$ mm e na região desbastada  $D_{ext} = 79,35$ mm e espessura  $e = 1,6$ mm, submetido às pressões de 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 MPa (1, 2, 3, 4 e 5 bar).

O tubo 03 foi representado por 3 segmentos, segundo as coordenadas apresentadas na Figura 3.4.

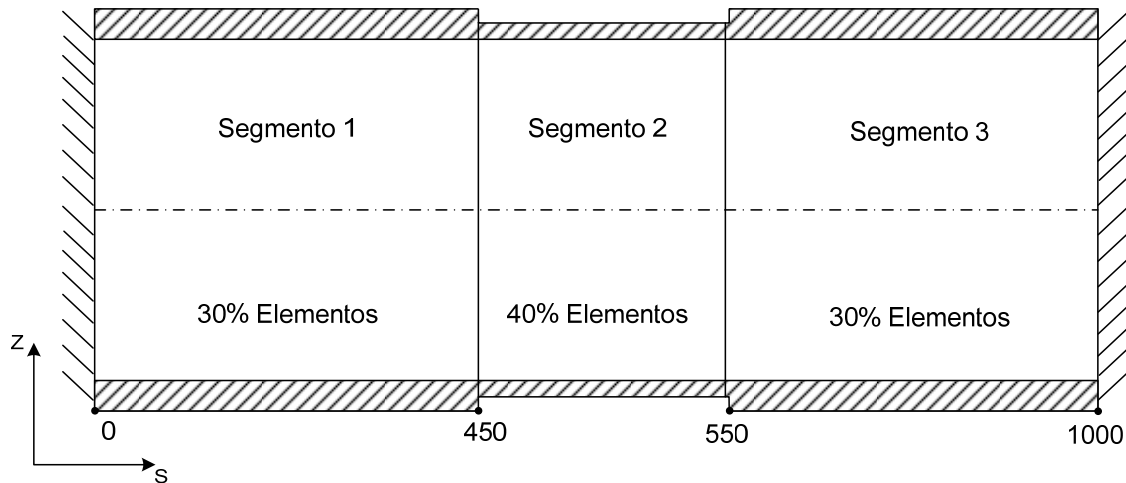


Figura 3.4 – Representação das coordenadas admitidas - Tubo 03.

O número de elementos foi dividido admitindo 30%, 40% e 30% para os segmentos 1, 2 e 3 respectivamente, conforme Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Número de elementos por segmento – Tubo 03.

Total de Elementos	Segmento 01 (30%)	Segmento 02 (40%)	Segmento 03 (30%)
10	3	4	3
20	6	8	6
40	12	16	12
60	18	24	18
80	24	32	24
100	30	40	30
120	36	48	36

Tabela 3.10 – Deslocamento máximo  $w_{m\acute{a}x}$  – valores em mm – Tubo 03.

Pressão (MPa)	10 elementos	20 elementos	40 elementos	60 elementos	80 elementos	100 elementos	120 elementos
0,1	1,170 E-3	1,156 E-3	1,153 E-3	1,151 E-3	1,151 E-3	1,151 E-3	1,150 E-3
0,2	2,339 E-3	2,313 E-3	2,305 E-3	2,303 E-3	2,302 E-3	2,301 E-3	2,301 E-3
0,3	3,509 E-3	3,469 E-3	3,457 E-3	3,454 E-3	3,452 E-3	3,451 E-3	3,451 E-3
0,4	4,678 E-3	4,626 E-3	4,610 E-3	4,605 E-3	4,603 E-3	4,602 E-3	4,601 E-3
0,5	5,847 E-3	5,782 E-3	5,762 E-3	5,756 E-3	5,753 E-3	5,752 E-3	5,751 E-3

Aplicando os dados geométricos da Tabela 3.1 e Tabela 3.10 à equação (38), têm-se os valores de deformação circunferencial máxima, listados na Tabela 3.11, comparados com os obtidos através da análise experimental.

Tabela 3.11 – Deformações circunferenciais máximas - Tubo 03.

Pressão (MPa)	Deformação Circunferencial Máxima $\epsilon_{c \text{ máx}}$ ( $10^{-6}$ )							Exp.
	10 elementos	20 elementos	40 elementos	60 elementos	80 elementos	100 elementos	120 elementos	
0,1	29,12	28,77	28,70	28,65	28,65	28,65	28,62	28
0,2	58,22	57,57	57,37	57,32	57,30	57,27	57,27	59
0,3	87,34	86,35	86,05	85,97	85,92	85,90	85,90	91
0,4	116,44	115,15	114,75	114,62	114,57	114,55	114,52	117
0,5	145,54	143,92	143,42	143,27	143,20	143,17	143,15	150

Tabela 3.12 – Diferença percentual entre os valores simulados e os experimentais - Tubo 03.

Pressão (MPa)	Deformação Circunferencial Máxima $\epsilon_{c \text{ máx}}$ ( $10^{-6}$ )		Erro %
	120 elementos	Experimental	
0,1	28,62	28,00	2,23
0,2	57,27	59,00	-2,92
0,3	85,90	91,00	-5,61
0,4	114,52	117,00	-2,12
0,5	143,15	150,00	-4,57
		<b>Erro Médio</b>	<b>-2,598</b>

Com os dados da Tabela 3.11, gerou-se os gráficos 12 a 22 que se seguem:

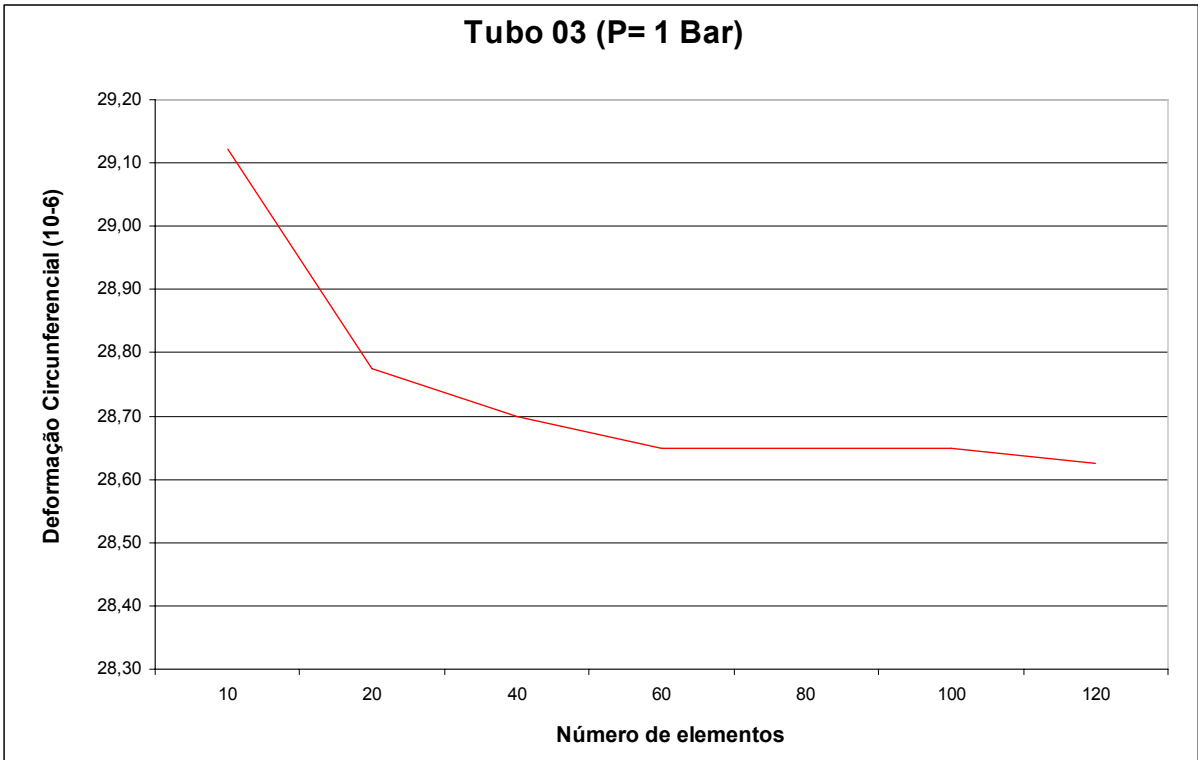


Gráfico 12 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 03 – P=1 bar

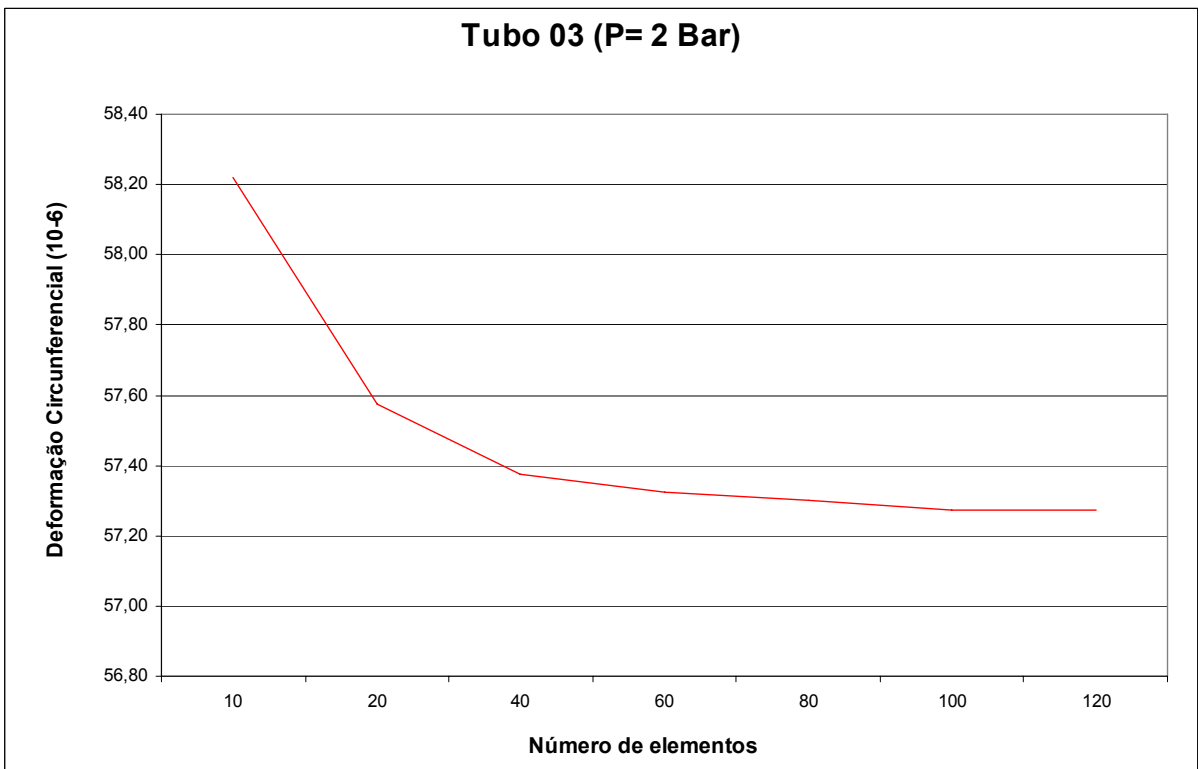


Gráfico 13 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 03 – P=2 bar



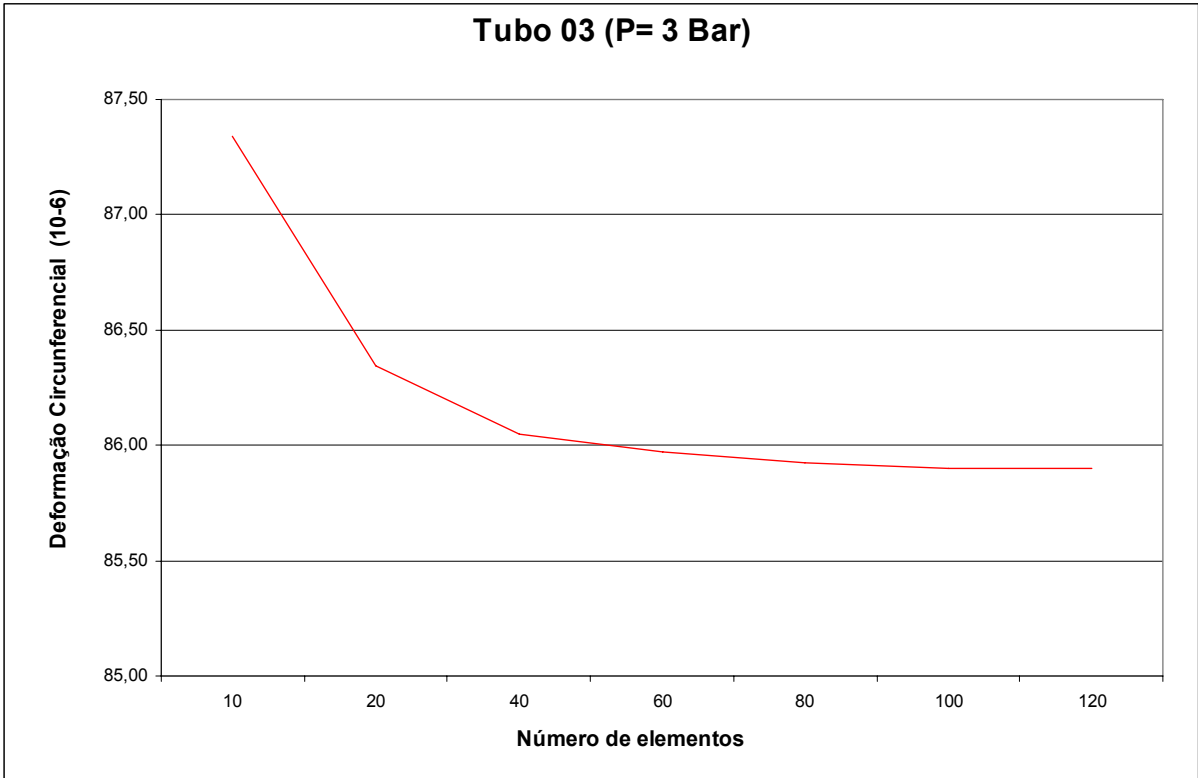


Gráfico 14 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 03 – P=3 bar

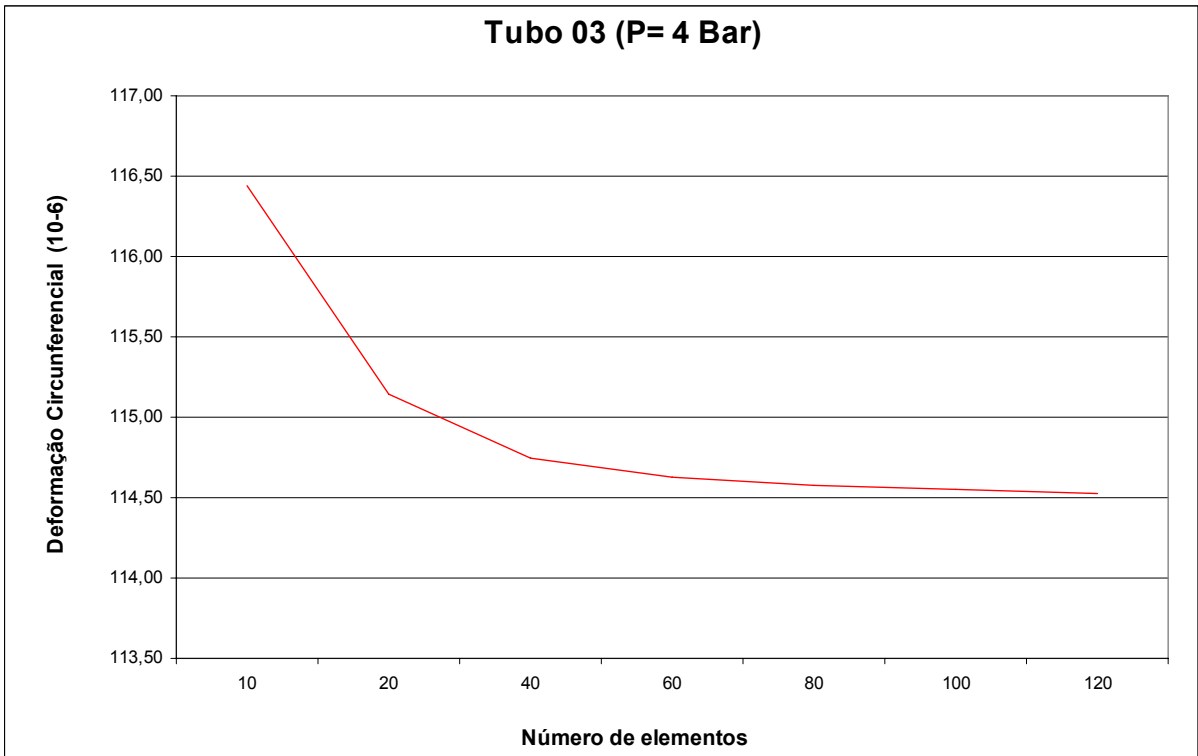


Gráfico 15 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 03 – P=4 bar

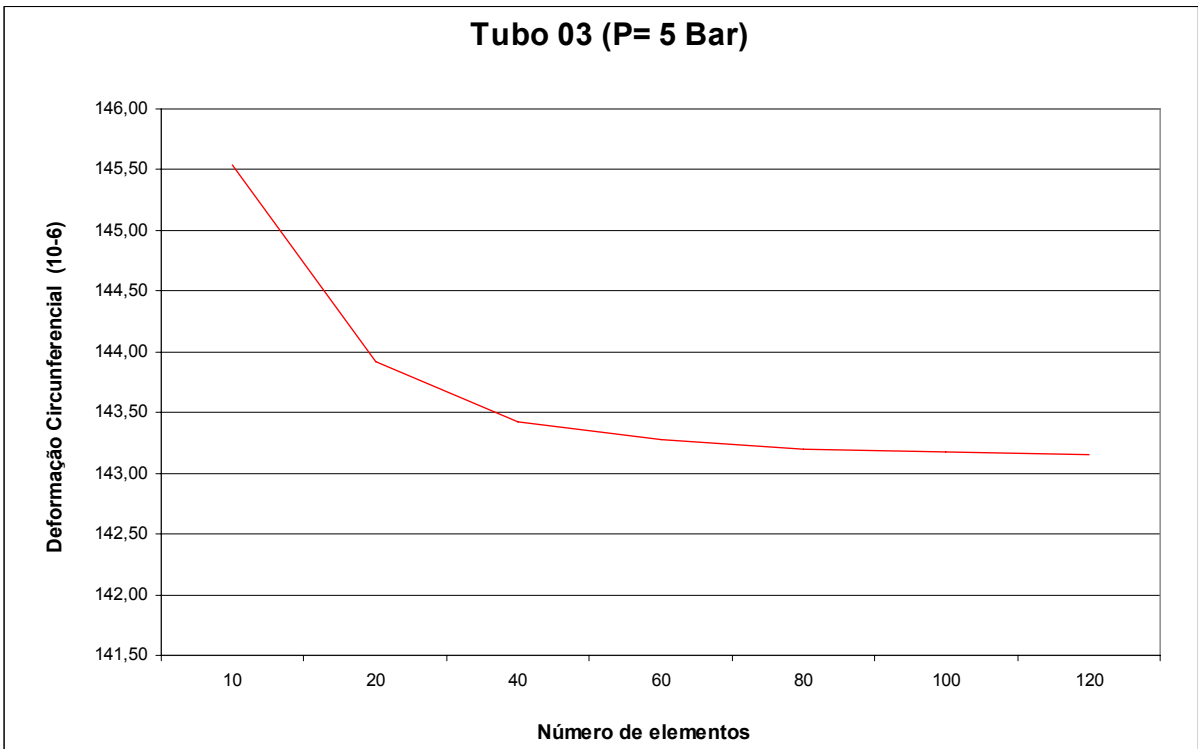


Gráfico 16 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 03 – P=5 bar

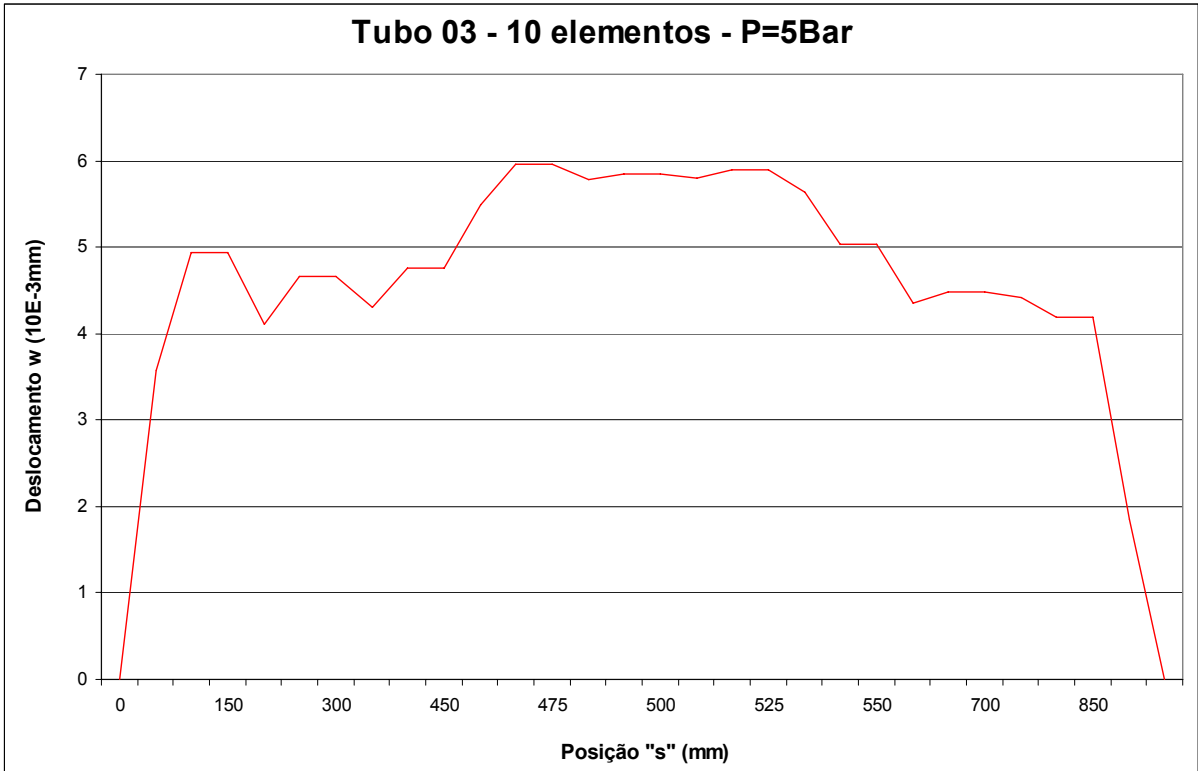


Gráfico 17 – Deslocamento radial X Posição “s” para o Tubo 03 – P=5 bar – **10 elementos**

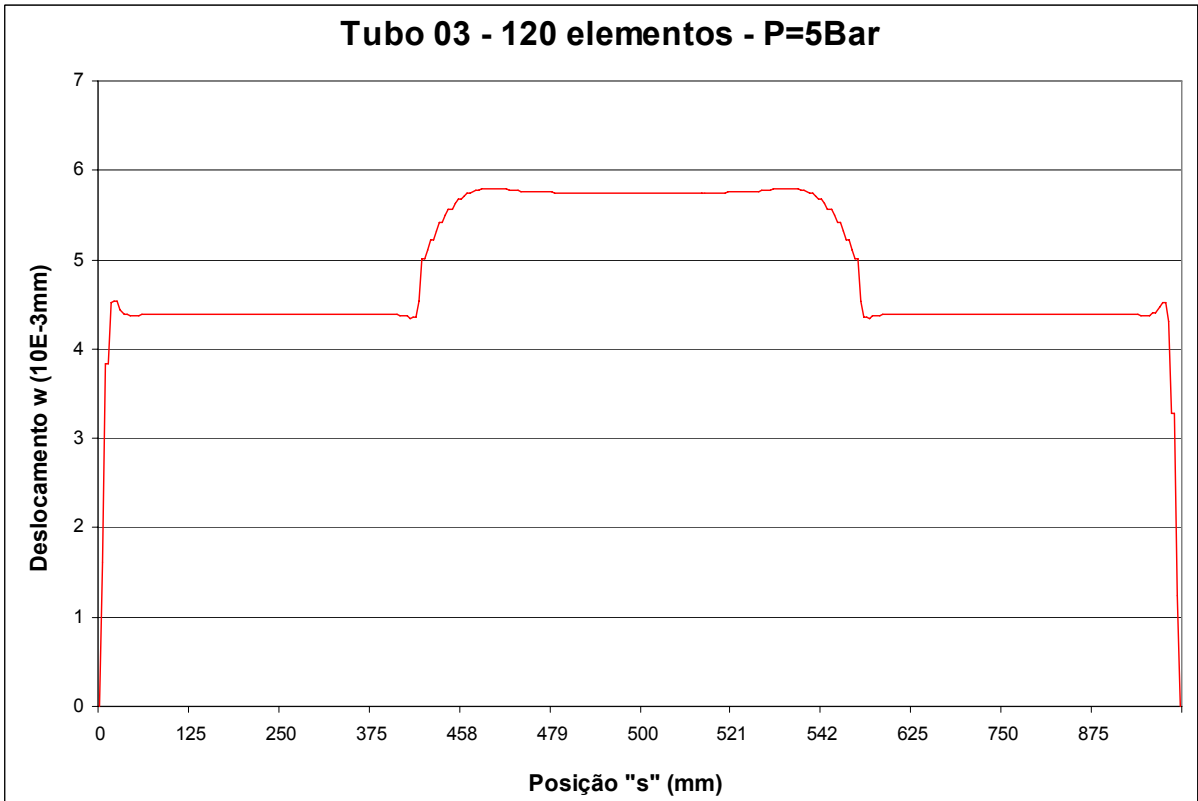


Gráfico 18 – Deslocamento radial X Posição “s” para o Tubo 03 – P=5 bar – **120 elementos**

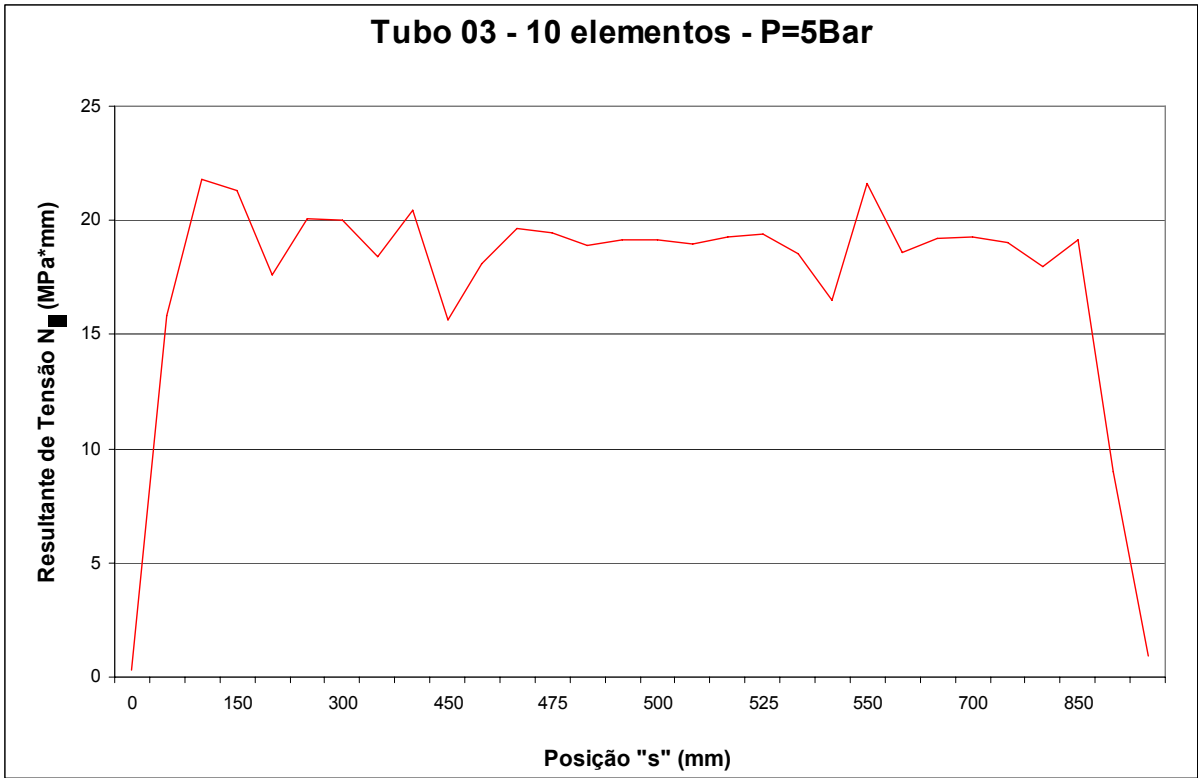


Gráfico 19 – Resultante de Tensão Circunferencial X Posição “s” para o Tubo 03 – P=5 bar – 10 elementos

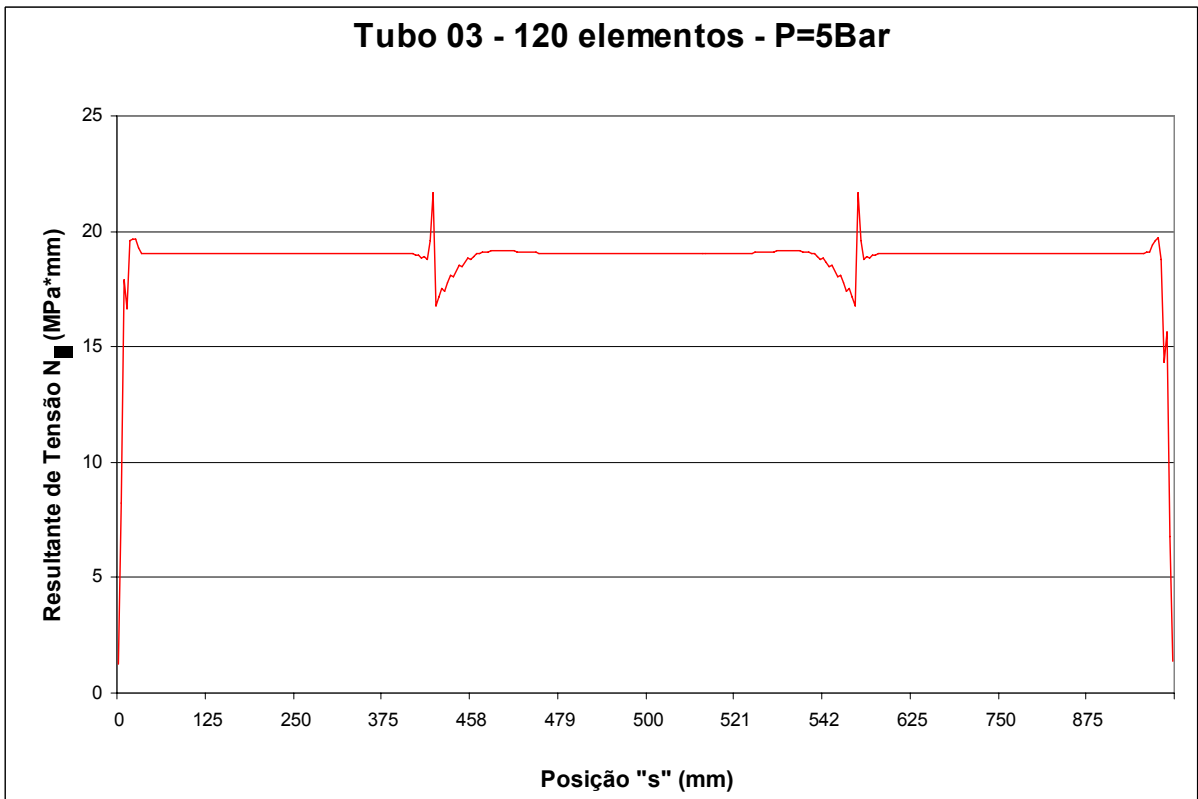


Gráfico 20 – Resultante de Tensão Circunferencial X Posição “s” para o Tubo 03 – P=5 bar – 120 elementos

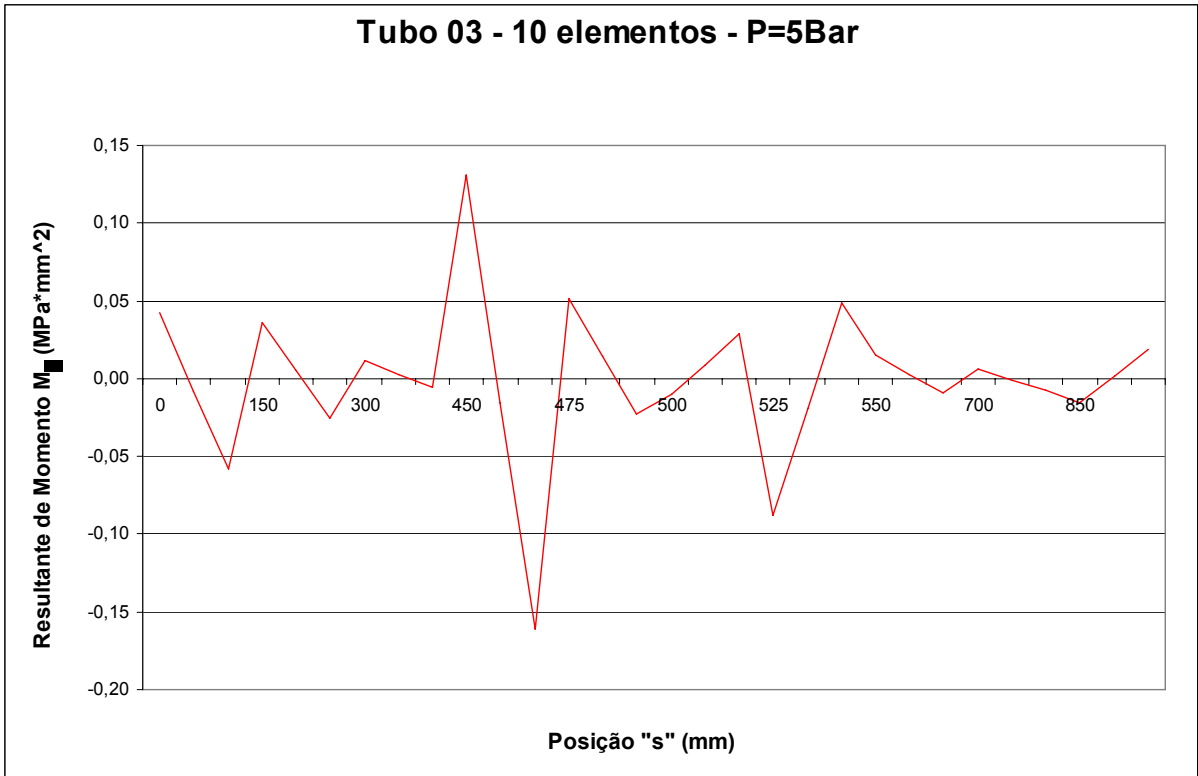


Gráfico 21 – Resultante de Momento Fletor Circunferencial X Posição “s” para o Tubo 03 – P=5 bar – 10 elementos

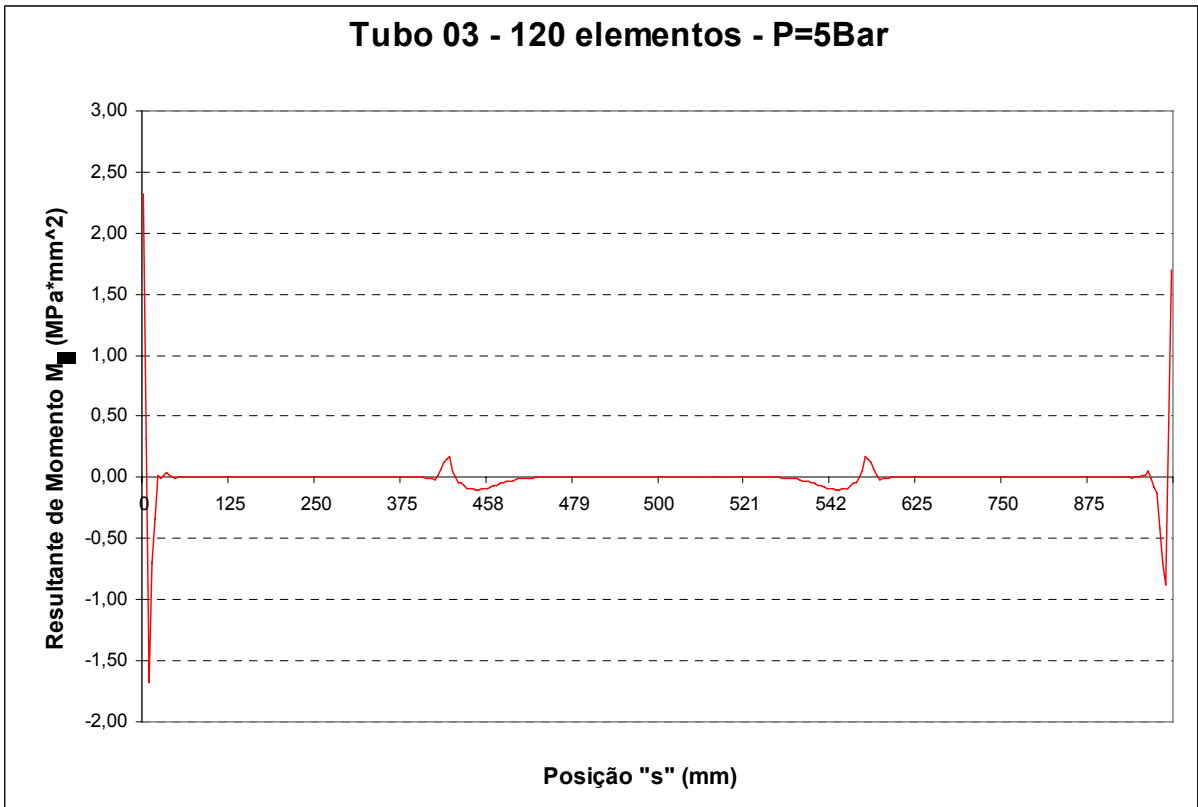


Gráfico 22 – Resultante de Momento Circunferencial X Posição “s” para o Tubo 03 – P=5 bar – 120 elementos

**c) Tubo 06 (Al06)**

Tubo de alumínio desbastado em 100 mm na região central, reparado com tecido balanceado de fibra de carbono (50%  $v_f$ ) e resina epóxi, de comprimento  $L = 1000$  mm, diâmetro externo na região íntegra  $D_{ext} = 80,35$  mm e espessura  $e = 2,1$  mm e na região desbastada  $D_{ext} = 79,35$  mm e espessura  $e = 1,6$  mm, submetido às pressões de 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 MPa (1, 2, 3, 4 e 5 bar).

O tubo 06 foi representado por 3 segmentos, segundo as coordenadas apresentadas na Figura 3.5.

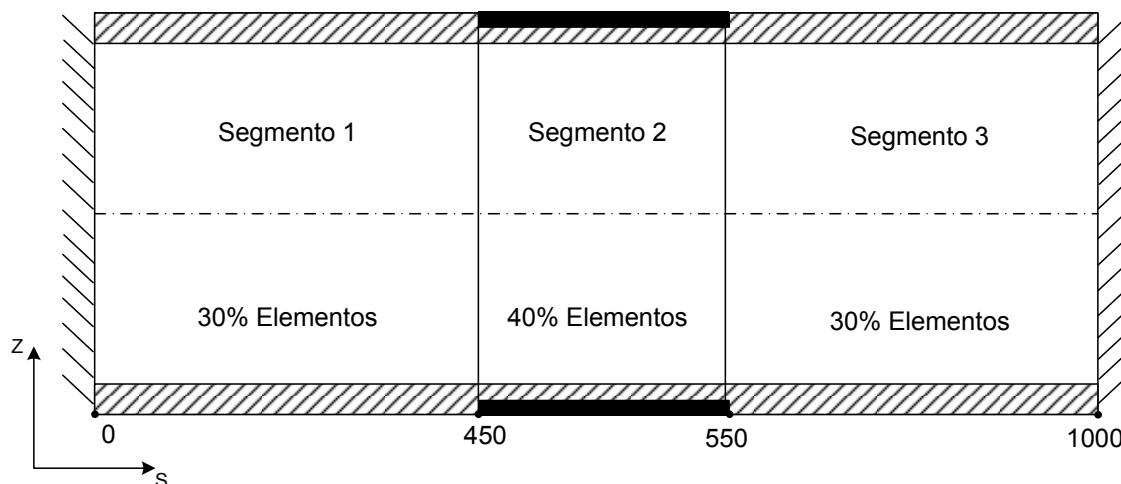


Figura 3.5 – Representação das coordenadas admitidas - Tubo 06.

O número de elementos foi dividido admitindo 30%, 40% e 30% para os segmentos 1, 2 e 3 respectivamente, conforme Tabela 3.14.

Tabela 3.13 – Número de elementos por segmento – Tubo 06.

Total de Elementos	Segmento 01 (30%)	Segmento 02 (40%)	Segmento 03 (30%)
20	6	8	6
40	12	16	12
60	18	24	18
80	24	32	24
100	30	40	30
120	36	48	36

Tabela 3.14 – Deslocamento máximo  $w_{máx}$  – valores em mm – Tubo 06.

Pressão (MPa)	10 elementos	20 elementos	40 elementos	60 elementos	80 elementos	100 elementos	120 elementos
0,1	9,054 E-4	8,998 E-4	8,972 E-4	8,964 E-4	8,961 E-4	8,959 E-4	8,958 E-4
0,2	1,811 E-3	1,799 E-3	1,794 E-3	1,793 E-3	1,792 E-3	1,792 E-3	1,792 E-3
0,3	2,716 E-3	2,699 E-3	2,691 E-3	2,689 E-3	2,688 E-3	2,688 E-3	2,687 E-3
0,4	3,621 E-3	3,599 E-3	3,589 E-3	3,585 E-3	3,584 E-3	3,583 E-3	3,583 E-3
0,5	4,527 E-3	4,498 E-3	4,486 E-3	4,482 E-3	4,480 E-3	4,479 E-3	4,479 E-3

Aplicando os dados geométricos da Tabela 3.1 e Tabela 3.14 à equação (25), têm-se os valores de deformação circunferencial máxima listados na Tabela 3.15, comparados com os obtidos através da análise experimental.

Tabela 3.15 – Deformações circunferenciais máximas - Tubo 06.

Pressão (MPa)	Deformação Circunferencial Máxima $\epsilon_{c \text{ máx}}$ ( $10^{-6}$ )							Exp.
	10 elementos	20 elementos	40 elementos	60 elementos	80 elementos	100 elementos	120 elementos	
0,1	22,54	22,40	22,33	22,31	22,30	22,30	22,30	23
0,2	45,08	44,78	44,65	44,63	44,60	44,60	44,60	44
0,3	67,60	67,18	66,98	66,93	66,91	66,91	66,88	68
0,4	90,13	89,58	89,33	89,23	89,21	89,18	89,18	90
0,5	112,68	111,96	111,66	111,56	111,51	111,49	111,49	111

Tabela 3.16 – Diferença percentual entre os valores simulados e os experimentais - Tubo 06.

Pressão (MPa)	Deformação Circunferencial Máxima $\epsilon_{c \text{ máx}}$ ( $10^{-6}$ )		Erro %
	120 elementos	Experimental	
0,1	22,30	23	-3,05
0,2	44,60	44	1,37
0,3	66,88	68	-1,64
0,4	89,18	90	-0,91
0,5	111,49	111	0,44
		<b>Erro Médio</b>	<b>-0,758</b>

Com os dados da Tabela 3.15, gerou-se os gráficos 23 a 33 que se seguem:

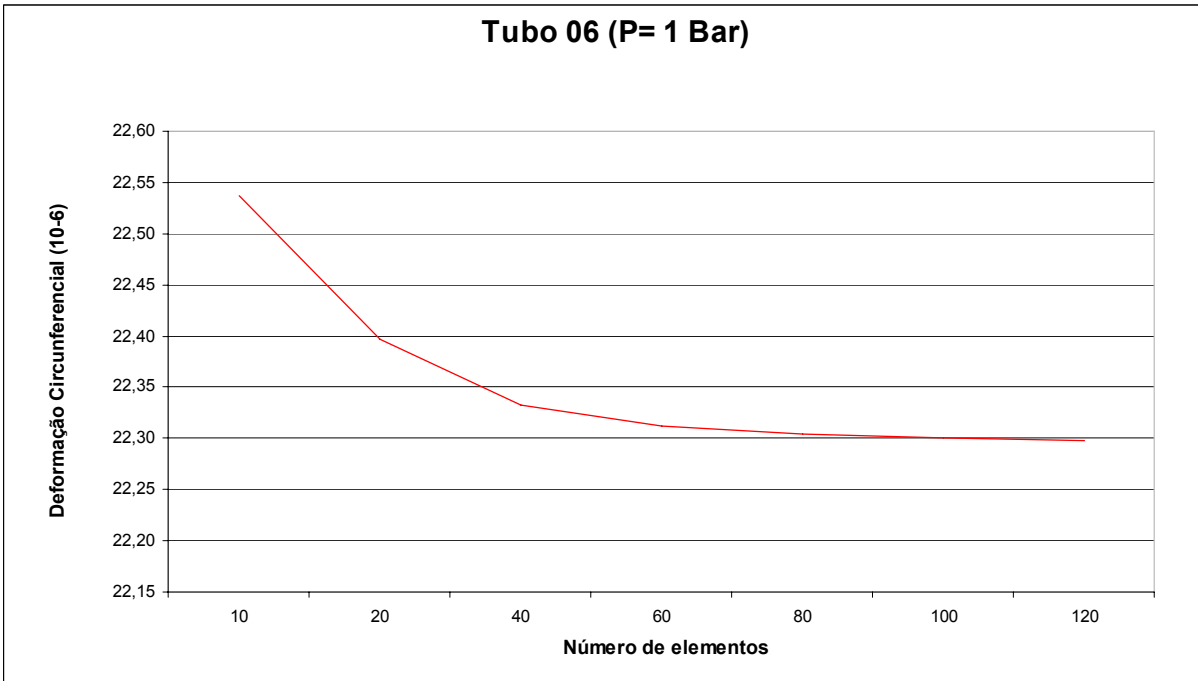


Gráfico 23 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 06 – P=1 bar

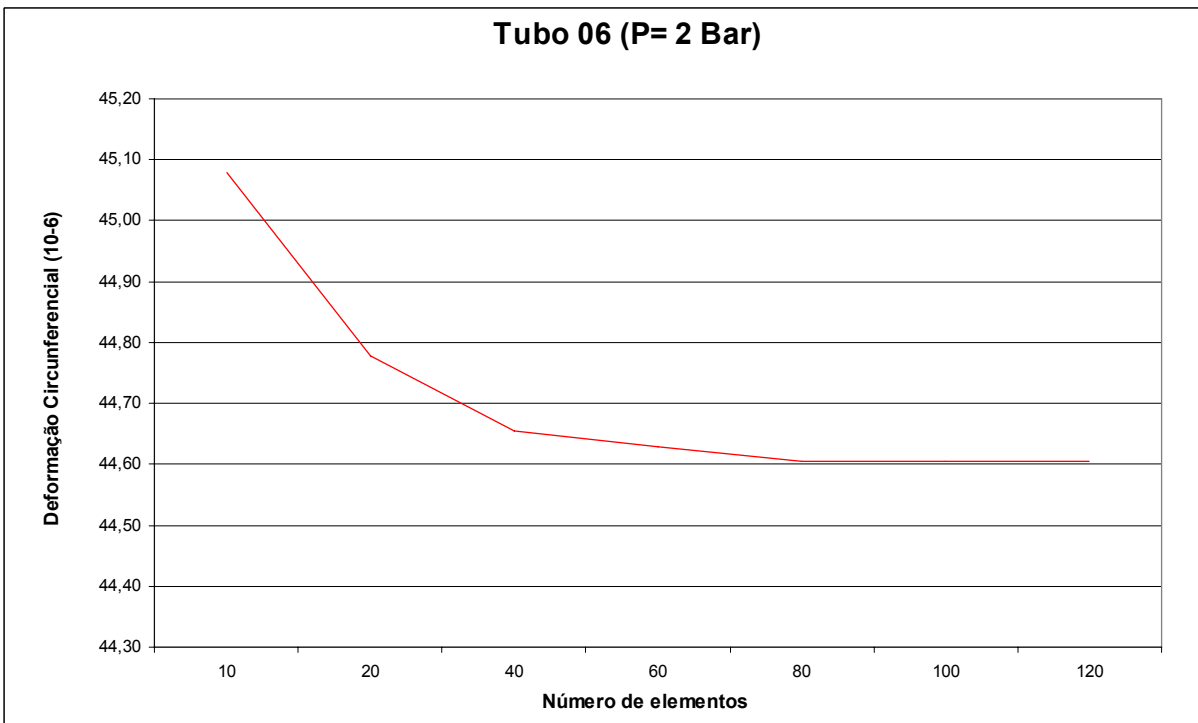


Gráfico 24 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 06 – P=2 bar



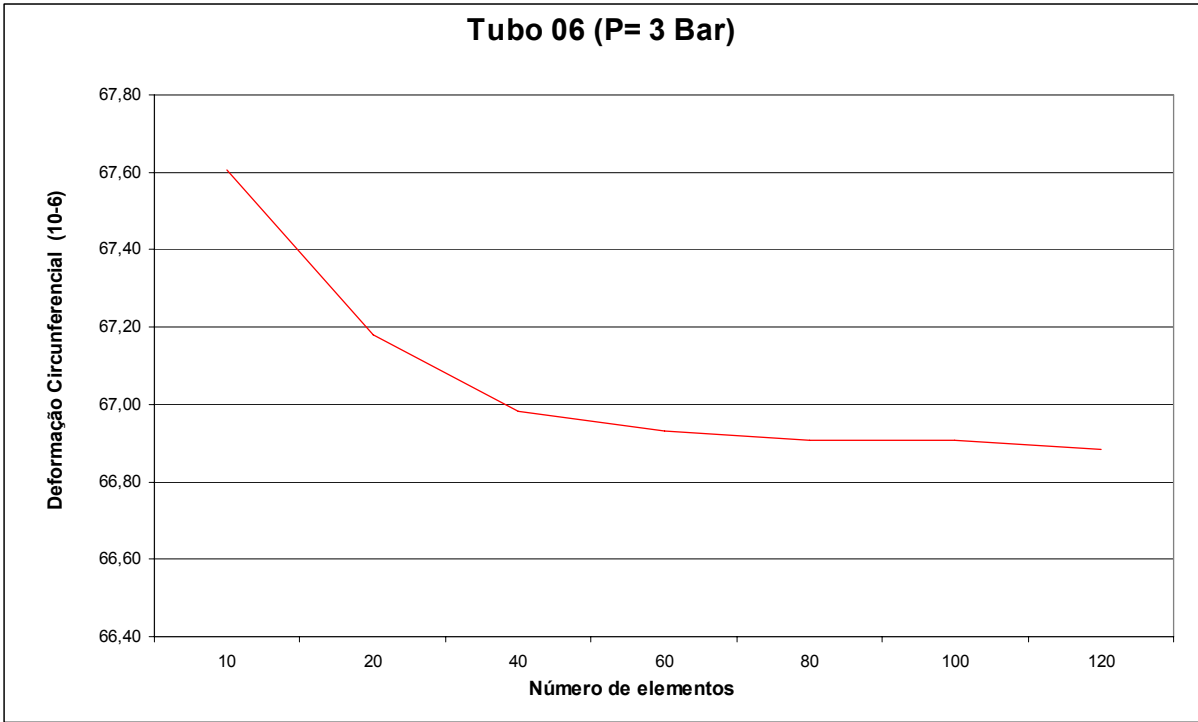


Gráfico 25 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 06 – P=3 bar

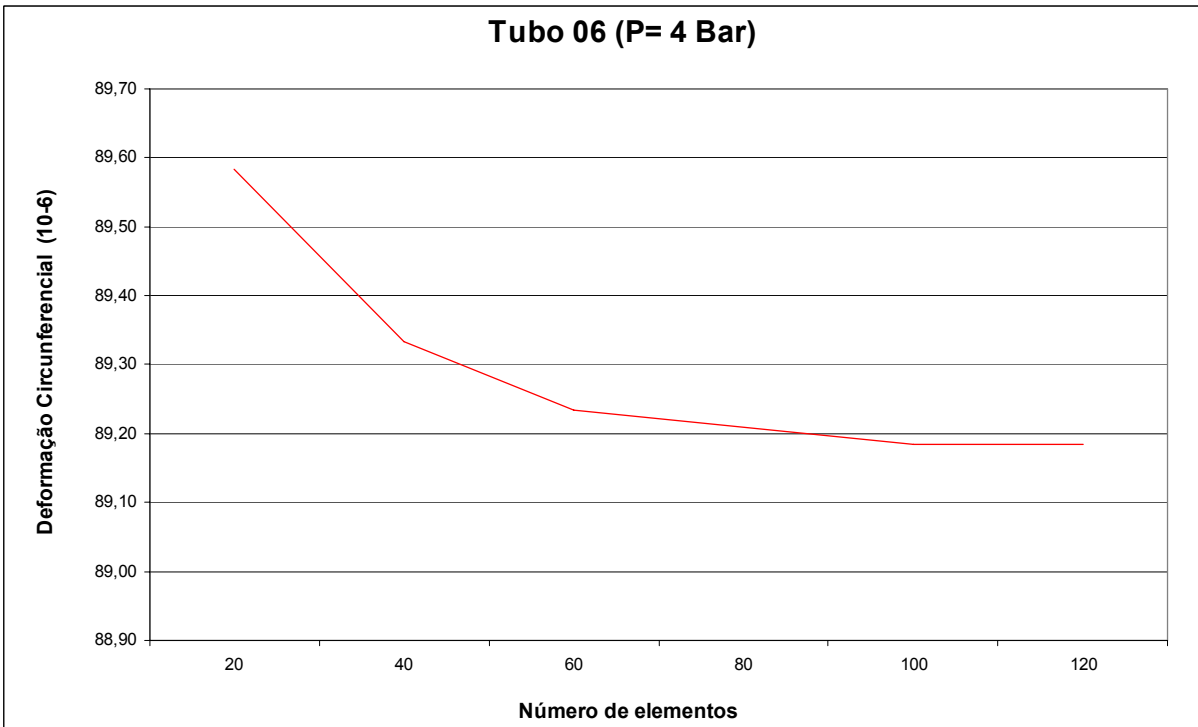


Gráfico 26 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 06 – P=4 bar

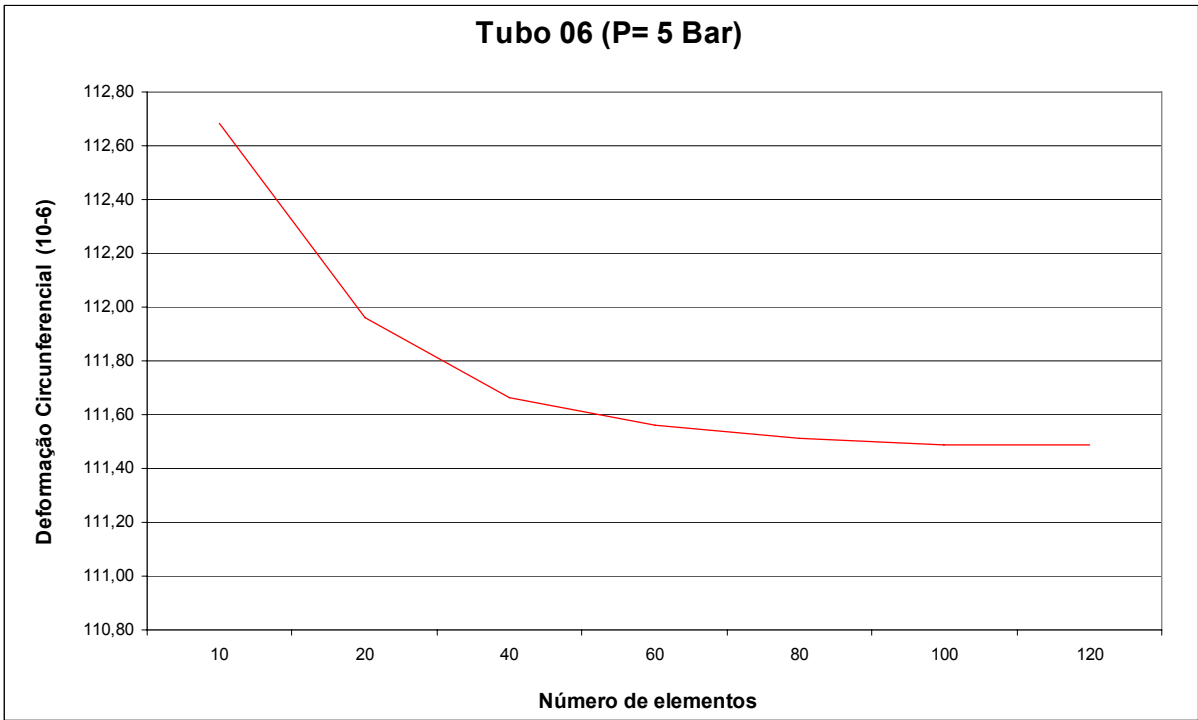


Gráfico 27 – Deformação circunferencial X Número de elementos para o Tubo 06 – P=5 bar

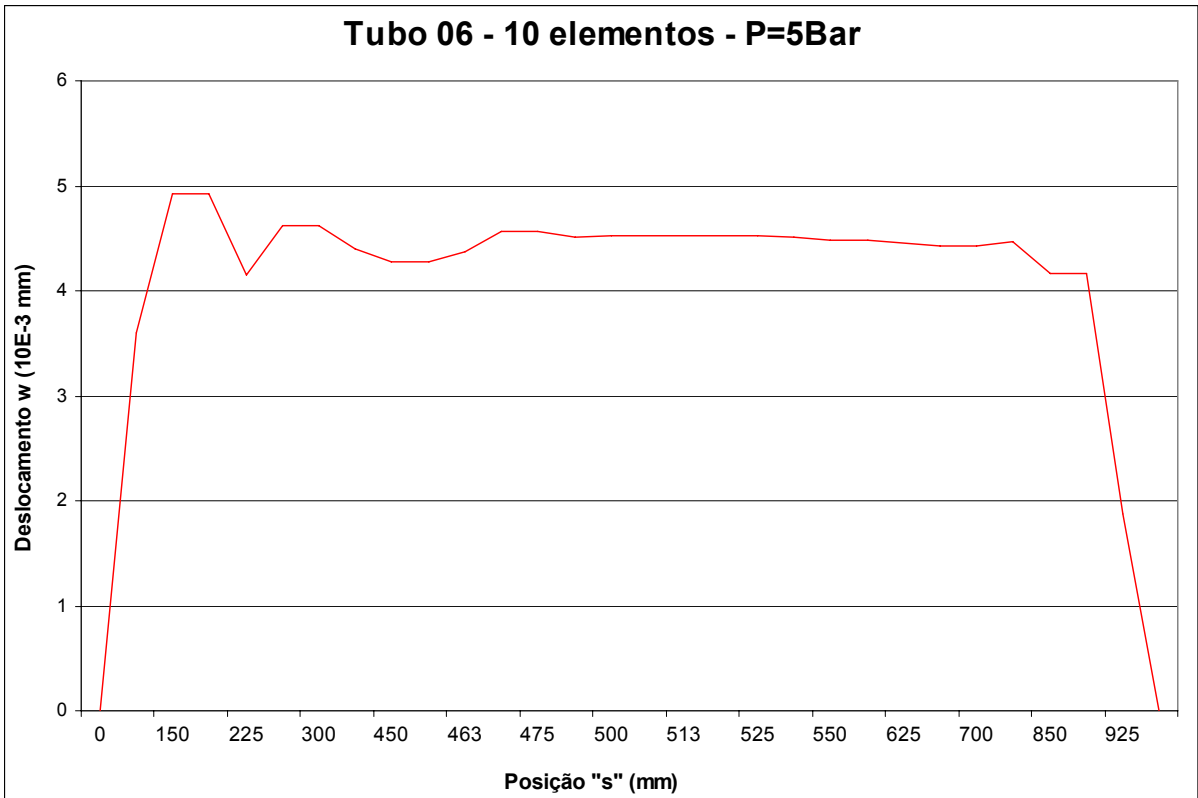


Gráfico 28 – Deslocamento radial X Posição “s” para o Tubo 06 – P=5 bar – 10 elementos

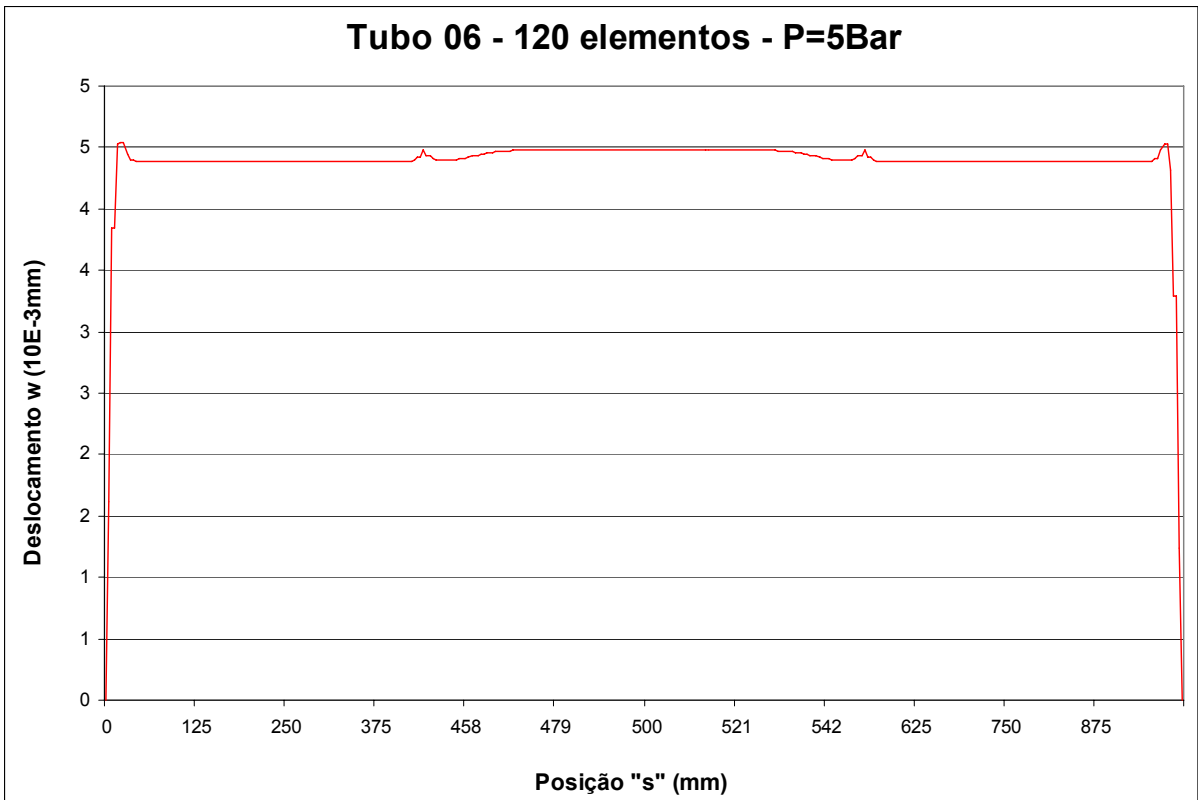


Gráfico 29 – Deslocamento radial X Posição “s” para o Tubo 06 – P=5 bar - 120 elementos

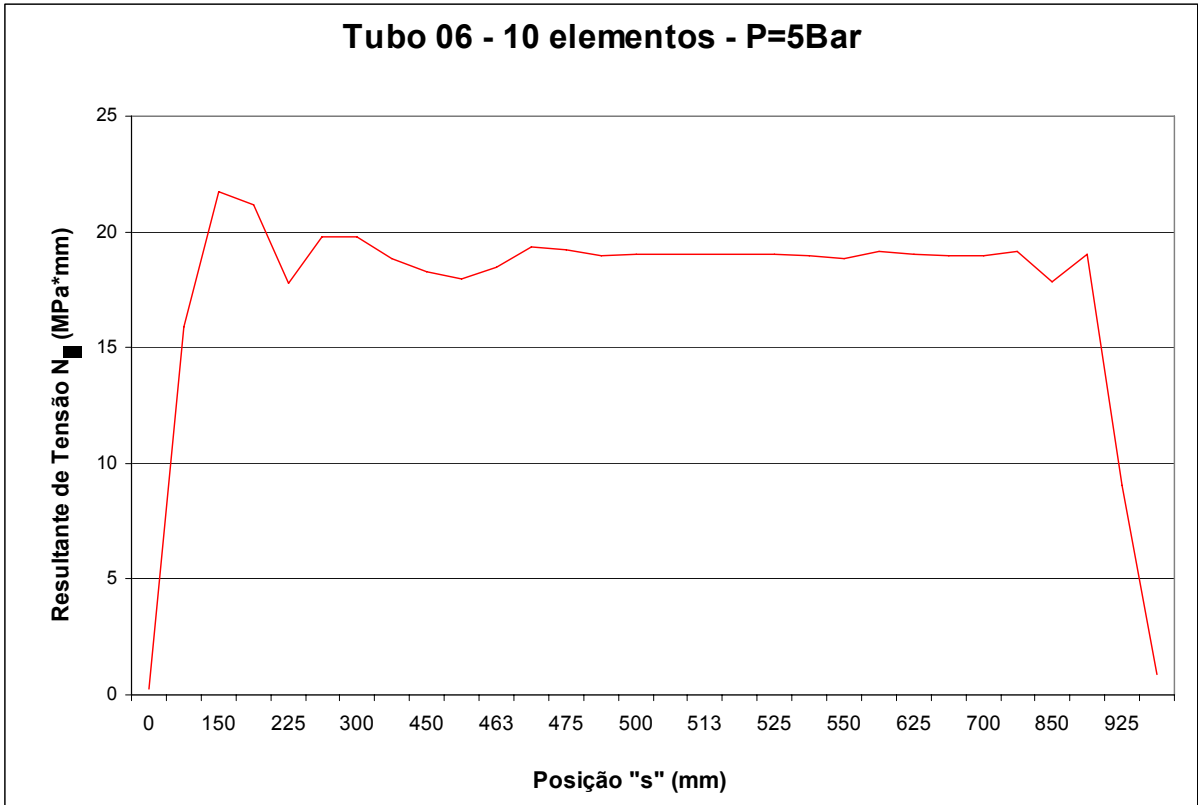


Gráfico 30 – Resultante de Tensão Circunferencial X Posição “s” para o Tubo 06 – P=5 bar - 10 elementos

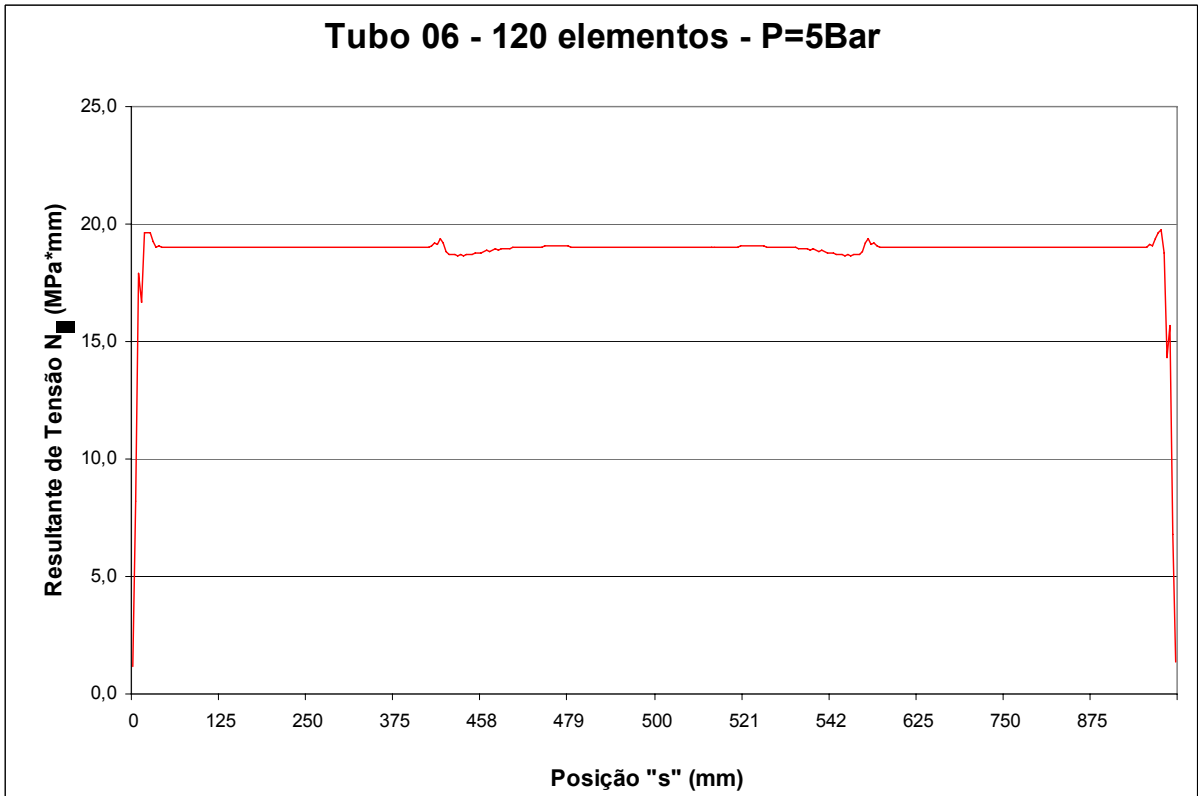


Gráfico 31 – Resultante de Tensão Circunferencial X Posição “s” para o Tubo 06 – P=5 bar - 120 elementos

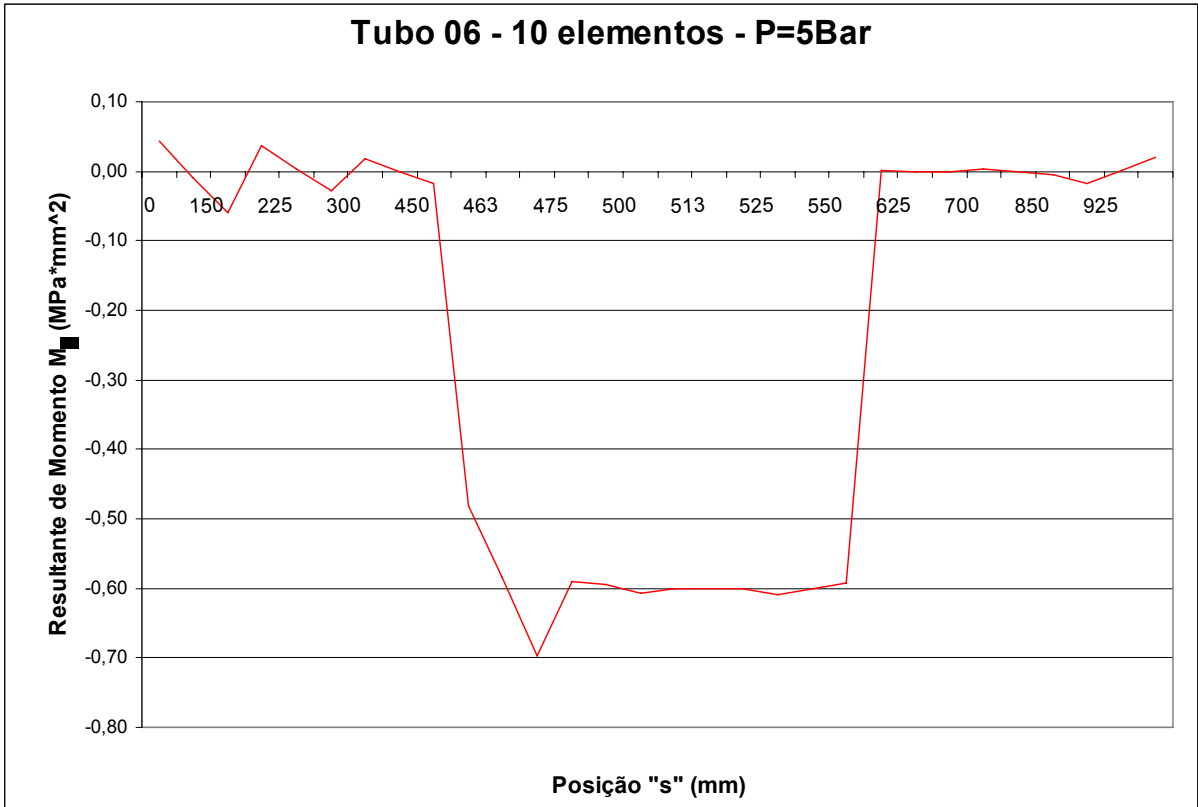


Gráfico 32 – Resultante de Momento Fletor Circunferencial X Posição “s” para o Tubo 06 – P=5 bar - 10 elementos

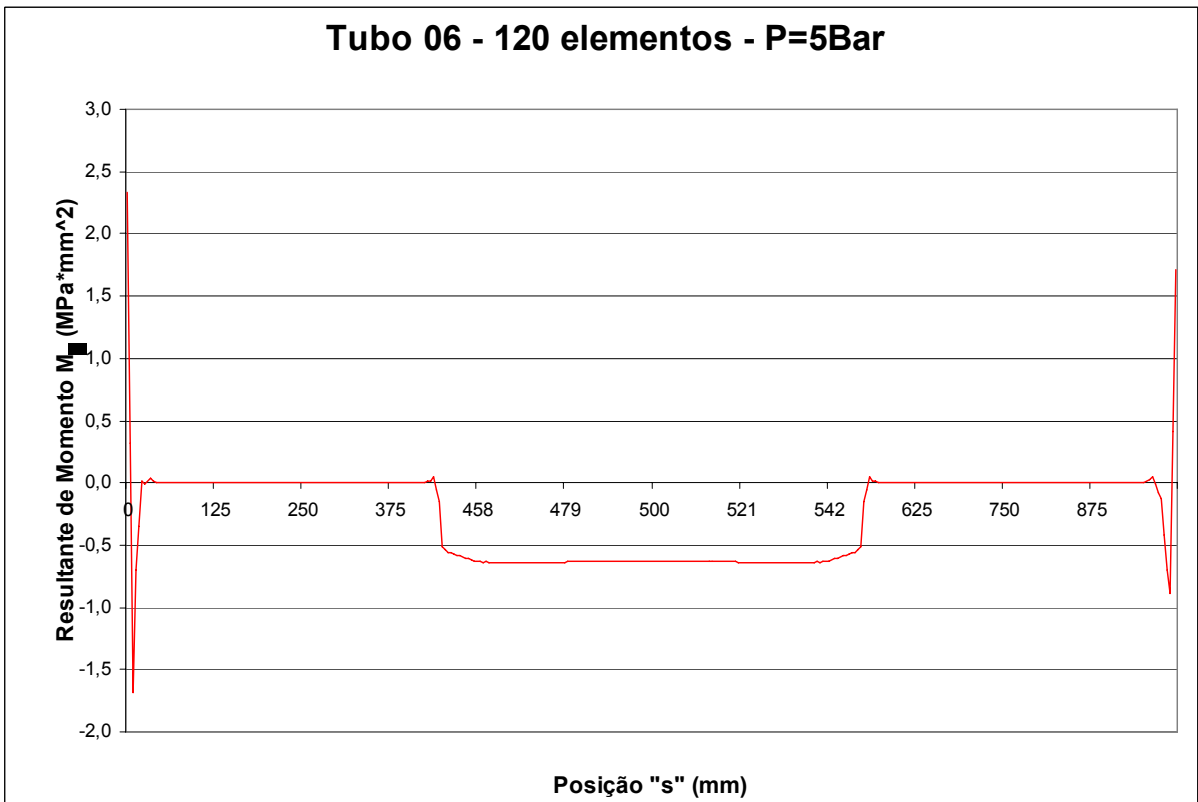


Gráfico 33 – Resultante de Momento Fletor Circunferencial X Posição “s” para o Tubo 06 – P=5 bar - 120 elementos

### 3.2 Simulação Numérica

Após a validação do modelo proposto através da análise de convergência, é possível iniciar as simulações, objetivo principal deste trabalho.

O trabalho consiste na realização de simulações numéricas de um modelo de elementos finitos, utilizando o programa COMPSHELL, para tubos de Aço AISI 1020 íntegros, desbastados e reparados com diferentes materiais compósitos. As simulações visam avaliar o comportamento dos tubos quando submetidos a diferentes pressões internas, no que diz respeito às deformações circunferenciais, principalmente.

Os materiais utilizados apresentam as propriedades listadas na Tabela 3.17.

Tabela 3.17 – Propriedades mecânicas dos materiais utilizados. (www.matweb.com; Maia, 2003; Dato, 1989; Levy Neto, 1991)

Propriedade	Aço AISI 1020	Carbono / Epóxi $v_f = v_m = 50\%$	Kevlar / Epóxi $v_f = 50\%$	Vidro / Epóxi $v_f = 49\%$
$E_1 = E_2$ (GPa)	200	65,518	30	23,738
$\nu_{12} = \nu_{21}$	0,29	0,05	0,20	0,166
$G_{12}$ (GPa)	80	4,663	5	3,984
$X_{1T}$ (MPa)	440	617,60	480	436
$X_{1C}$ (MPa)	440	465,40	190	415,20
$X_{2T}$ (MPa)	440	617,60	480	436
$X_{2C}$ (MPa)	440	465,40	190	415,20
$S_{12}$ (MPa)	200	78,20	50	40
$\rho$ (g/mm <sup>3</sup> )	0,00787	0,0016	0,00140	0,0018

O compósito que apresenta  $v_f = 50\%$  é obtido com a utilização de bolsa de vácuo e reforço de tecido de fibras. (Levy Neto e Pardini, 2006).

Como o Aço AISI 1020 é um material isotrópico e sua falha inicia-se quando a tensão de escoamento,  $\sigma_{esc}$ , é atingida, tem-se  $X_{1T} = X_{1C} = X_{2T} = X_{2C} = \sigma_{esc}$ .

Conforme observado através da análise de convergência, o número de elementos utilizados interfere diretamente nos resultados obtidos. Sendo assim, fica estabelecido a partir de então, o número de 120 elementos, na malha de elementos finitos, como padrão para representação dos tubos na simulação numérica.

Observou-se também que as perturbações que ocorrem nos engastamento e nas regiões desbastadas são bem localizadas, não sofrendo interferência do comprimento, então se decidiu simular tubos com comprimento total de  $L=400\text{mm}$ .

### 3.2.1 Tubo Íntegro

O tubo íntegro simulado é representado pela Figura 3.6, com as propriedades listadas na Tabela 3.17 e segundo as configurações apresentadas na Tabela 3.18.

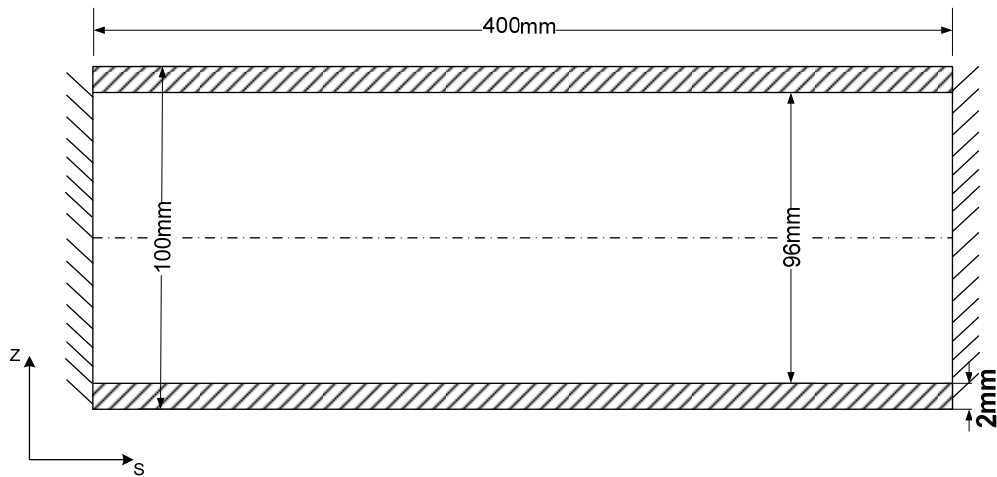


Figura 3.6 – Representação do tubo íntegro.

Tabela 3.18 – Configuração do tubo íntegro simulado.

Comprimento L (mm)	D. Externo $d_{ext}$ (mm)	D. Interno $d_{int}$ (mm)	Espessura (mm)
400,00	100,00	96,00	2,0

### 3.2.2 Tubo Desbastado

O tubo desbastado simulado é representado pela Figura 3.7, com as propriedades listadas na Tabela 3.17 e segundo as configurações apresentadas na Tabela 3.19. Neste caso, o desbaste é de 1mm, correspondendo a 50% da espessura original do tubo.

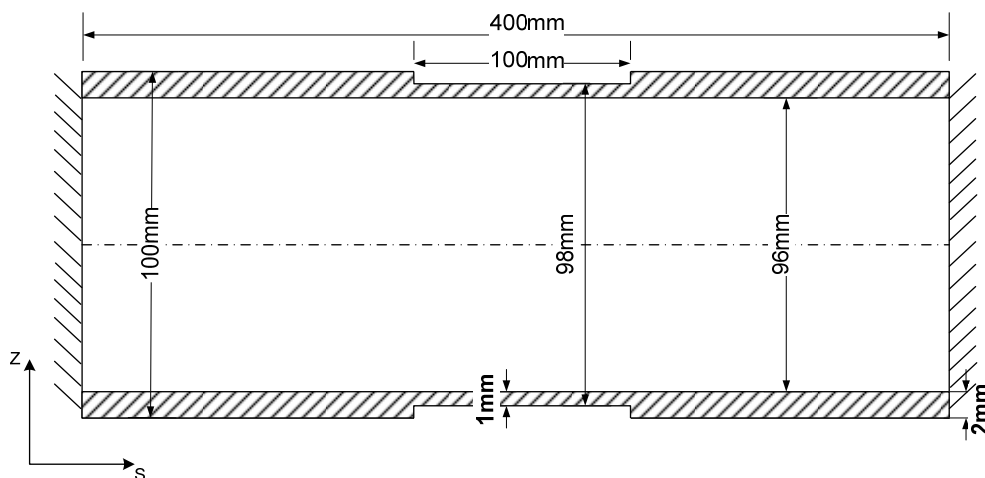


Figura 3.7 – Representação do tubo desbastado.

Tabela 3.19 – Configuração do tubo desbastado simulado.

Comprimento L (mm)	D. Externo $d_{ext}$ (mm)	D. Interno $d_{int}$ (mm)	Espessura (mm)	$d_{ext}$ Desbaste (mm)	$d_{int}$ Desbaste (mm)	Espessura Desbaste (mm)
400,00	100,00	96,00	2,0	98,00	96,00	1,0

### 3.2.3 Tubos Reparados

Os tubos reparados simulados são representados pela Figura 3.8 e segundo as configurações apresentadas na Tabela 3.19.

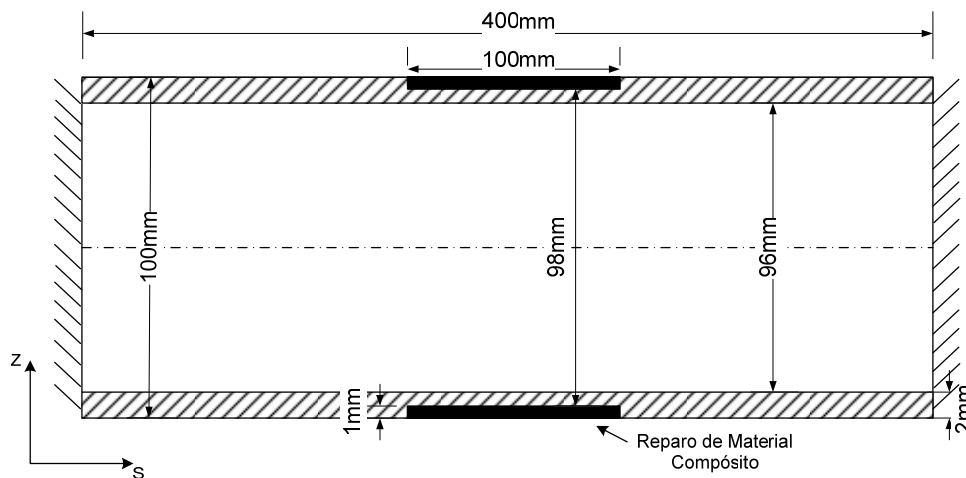


Figura 3.8 – Representação do tubo reparado.

OBS: A espessura de reparo demonstrada na Figura 3.8 é meramente ilustrativa, uma vez que a espessura necessária varia de acordo como o material compósito empregado.

Foram considerados 3 (três) tipos de reparos: Carbono/Epóxi com 50% de fração volumétrica de fibras, Kevlar/Epóxi com 50% de fração volumétrica de fibras e o Vidro/Epóxi com 49% de fração volumétrica de fibras, tendo suas propriedades listadas na Tabela 3.17. Todos os reforços são na forma de tecidos balanceados, com fibras perpendiculares entre si.

Como o objetivo da utilização do reparo é restabelecer o comportamento mecânico do tubo desbastado no que diz respeito às deformações circunferenciais, é importante determinar a espessura de reparo necessária.

Admitindo que a variação na deformação circunferencial seja resultado da diminuição da rigidez na região desbastada, é correto afirmar que, garantindo a mesma deformação ao tubo desbastado que ao tubo íntegro, através da aplicação do reparo, estaremos garantindo a recuperação de sua rigidez.

A aplicação do reparo contribuirá na recuperação da rigidez estrutural, variando sua espessura na região desbastada até que se observe a completa restauração da propriedade, através da análise das deformações circunferenciais.



A espessura a se utilizar pode ser aproximada através das seguintes relações:

$$\sigma_{aço} = E_{aço} \cdot \varepsilon_{aço} \quad e \quad \sigma_{rep} = E_{rep} \cdot \varepsilon_{rep} \quad (39)$$

Onde:

$\sigma$  = tensão normal na direção circunferencial;

$\varepsilon$  = deformação circunferencial;

E = módulo de elasticidade;

Índice aço = referente ao tubo de aço íntegro;

Índice rep = referente ao tubo de aço com reparo.

Isolando e igualando as deformações circunferenciais, tem-se:

$$\frac{\sigma_{aço}}{E_{aço}} = \frac{\sigma_{rep}}{E_{rep}} \quad (40)$$

Sabe-se que a tensão circunferencial para tubos de parede fina ( $D_i/t > 20$ ) é dada por:

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot r}{t} \quad (41)$$

Onde:

$\sigma$  = tensão circunferencial.

P = pressão interna.

R = raio interno.

t = espessura da parede.

Substituindo (8) em (7) tem-se:

$$\frac{P \cdot r}{t_{aço} \cdot E_{aço}} = \frac{P \cdot r}{t_{rep} \cdot E_{rep}} \quad (42)$$

Como a pressão interna ao qual o tubo está submetido e o raio interno do tubo são iguais para o íntegro e o reparado e a espessura retirada do tubo íntegro ( $t_{aço} = 1\text{mm}$ ) é constante, a equação (42) resume-se a:

$$t_{rep} \cdot E_{rep} = 1 \cdot E_{aço} \quad (43)$$

Aplicando os dados da Tabela 3.17 à equação (43), tem-se os valores da espessura do reparo necessária para cada compósito, listados na Tabela 3.20.

Tabela 3.20 – Espessura do reparo.

Material	$t_{rep}$ (mm)
Carbono/Epóxi	3,05
Kevlar/Epóxi	6,67
Vidro/Epóxi	8,43

### 3.3 Análise de Custo da Matéria Prima

Baseada na espessura ideal de reparo para cada compósito, que permite a recuperação do comportamento mecânico do tubo desbastado, calculou-se o custo da matéria prima de fibra e resina utilizadas.

Para o cálculo dos custos, foi considerada para todos os reparos, a configuração de tubo apresentada na Tabela 3.21.

Tabela 3.21 – Configuração dos tubos.

<b>L (mm)</b>	<b>D<sub>ext</sub> (mm)</b>	<b>e<sub>Total</sub> (mm)</b>	<b>L<sub>Desbastado</sub> (mm)</b>	<b>e<sub>Desbastado</sub> (mm)</b>
400	100	2,0	100	1,0

Os compósitos apresentaram a fração volumétrica de fibra e a espessura ideal de reparo listados na Tabela 3.22.

Tabela 3.22 – Características dos compósitos utilizados.

<b>Compósito</b>	<b>V<sub>f</sub></b>	<b>e<sub>reparo</sub> (mm)</b>	<b>e<sub>tecido</sub> (mm)</b>	<b>ρ (g/mm<sup>3</sup>)</b>
Carbono / Epóxi	50%	3,05	0,25	0,0016
Kevlar / Epóxi	50%	6,67	0,25	0,0014
Vidro / Epóxi	49%	8,43	0,25	0,0018

Os custos obtidos para a matéria prima estão listados na Tabela 3.23.

Tabela 3.23 – Custo da matéria prima de fibra e resina. (www.abcol.com.br)

	<b>Compósito</b>	<b>e<sub>tecido</sub> (mm)</b>	<b>Unid</b>	<b>R\$</b>
Fibra	Carbono (tecido)	0,25	m <sup>2</sup>	140,00
Fibra	Kevlar 49 (tecido)	0,25	m <sup>2</sup>	70,00
Fibra	Vidro –E 145 (tecido)	0,25	m <sup>2</sup>	10,00
Resina	Epóxi Lr 100	-	kg	21,00

OBS: Os tecidos de fibras apresentam espessura constante de 0,25mm.

Para estimarmos o custo, é necessário obter o volume de fibra e resina utilizadas, obedecendo às seguintes equações:

$$A_{camada} = 2\pi \frac{D_{Externo}}{2} L_{Desbastado} \quad (44)$$

$$n^{\circ} camadas = \frac{e_{reparo}}{e_{Tecido}} \quad (45)$$

$$A_{Total} = A_{camada} \cdot n^{\circ} camadas \quad (46)$$

$$V_{reparo} = 2\pi \frac{D_{Externo}}{2} L_{Desbastado} \cdot e_{reparo} \quad (47)$$

$$V_{matriz} = (1 - v_f) V_{reparo} \quad (48)$$

Aplicando os dados das Tabelas 21 e 22 às Equações de (44) a (48), obtêm-se os resultados da Tabela 3.24.

Tabela 3.24 – Características dos compósitos utilizados.

	<b>Carbono / Epóxi</b>	<b>Kevlar / Epóxi</b>	<b>Vidro / Epóxi</b>
$A_{camada} (m^2)$	0,031	0,031	0,031
$N^{\circ} camadas$	<b>12,2</b>	<b>26,68</b>	<b>33,72</b>
$A_{Total} (m^2)$	0,383	0,838	1,059
$V_{reparo} (mm^3)$	9,581 E4	26,954 E4	26,484 E4
$V_{matriz} (mm^3)$	4,791 E4	10,477 E4	13,506 E4
$m_{reparo} (g)$	153,31	305,93	476,70

Em aplicações práticas, como o número de camadas é inteiro, pode haver a necessidade de utilização de alguma camada com espessura diferente de 0,25mm e/ou fazer pequenos arredondamentos que terão pouca influência no custo final.

### 3.3.1 Custo da Fibra

Os valores levantados das fibras de carbono, kevlar e vidro encontram-se relacionados na Tabela 3.23. O custo da fibra é dado por:

$$Custo_{fibra} = A_{Total} \left( \frac{custo}{m^2} \right) v_f \quad (49)$$

Assim, tem-se o custo das fibras listados na Tabela 3.25

Tabela 3.25 – Custo das fibras nos reparos compósitos.

<b>Fibra</b>	<b>e<sub>reparo</sub> (mm)</b>	<b>R\$</b>
Carbono	3,05	26,83
Kevlar 49	6,67	29,34
Vidro E 145	8,43	5,19

### 3.3.2 Custo da Resina

O custo da resina é dado por:

$$Custo_{resina} = \rho \cdot V_{matriz} \left( \frac{custo}{kg} \right) \quad (50)$$

Desta forma obtêm-se os custos da resina, listados na Tabela 3.26.

Tabela 3.26 – Custo da resina epóxi por reparo compósito.

<b>Resina</b>	<b>e<sub>reparo</sub> (mm)</b>	<b>R\$</b>
Carbono	3,05	1,31
Kevlar 49	6,67	2,86
Vidro E 145	8,43	3,69

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Tubo Íntegro

O tubo de Aço AISI 1020, conforme configuração detalhada na seção 3.2.1, Tabela 3.18, fora submetido a vários valores de pressão, apresentando assim diferentes deslocamentos radiais máximos ( $w_{m\acute{a}x}$ ) e conseqüentemente, diferentes deformações circunferenciais máximas ( $\epsilon_{c\ m\acute{a}x}$ ). Esses valores estão listados na Tabela 4.1 e Tabela 4.2 respectivamente.

Tabela 4.1 – Deslocamento máximo  $w_{m\acute{a}x}$  – valores em mm.

<b>Pressão (MPa)</b>	<b><math>w_{m\acute{a}x}</math> (mm)</b>
<b>2,0</b>	1,103 E-2
<b>4,0</b>	2,205 E-2
<b>6,0</b>	3,307 E-2
<b>8,0</b>	4,408 E-2
<b>10,0</b>	5,509 E-2

Tabela 4.2 – Deformações circunferenciais máximas.

<b>Pressão (MPa)</b>	<b><math>\epsilon_{c\ m\acute{a}x}</math></b>
<b>2,0</b>	2,206 E-4
<b>4,0</b>	4,410 E-4
<b>6,0</b>	6,614 E-4
<b>8,0</b>	8,816 E-4
<b>10,0</b>	11,018 E-4

Com os dados de deslocamento máximo ( $w_{m\acute{a}x}$ ) e deformação circunferencial máxima ( $\epsilon_{c\ m\acute{a}x}$ ) da Tabela 4.1 e Tabela 4.2, gerou-se os gráficos 34 a 37 que se seguem:

# TUBO ÍNTEGRO

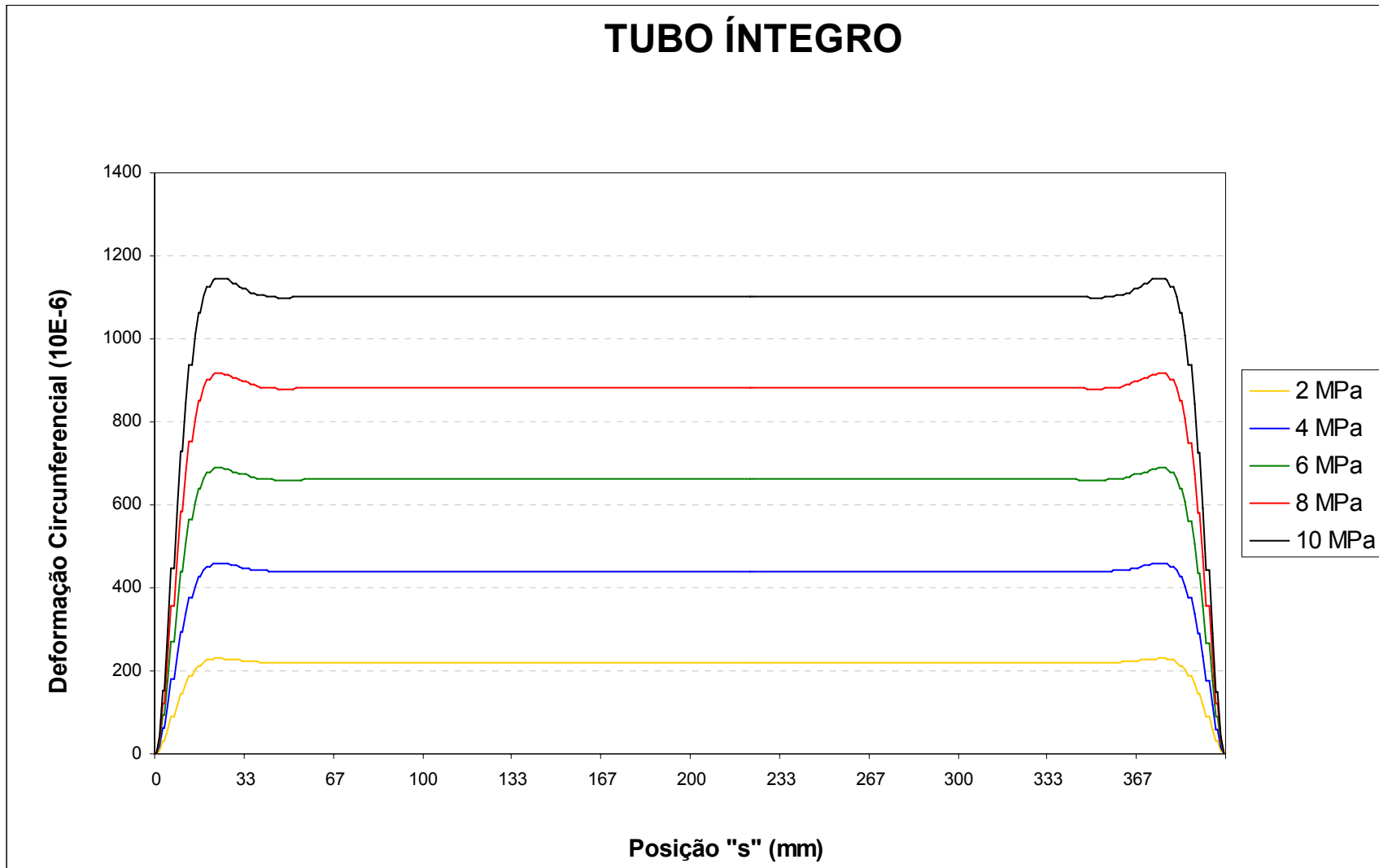


Gráfico 34 – Deformação circunferencial X Posição “s” – Tubo Íntegro

# TUBO ÍNTEGRO

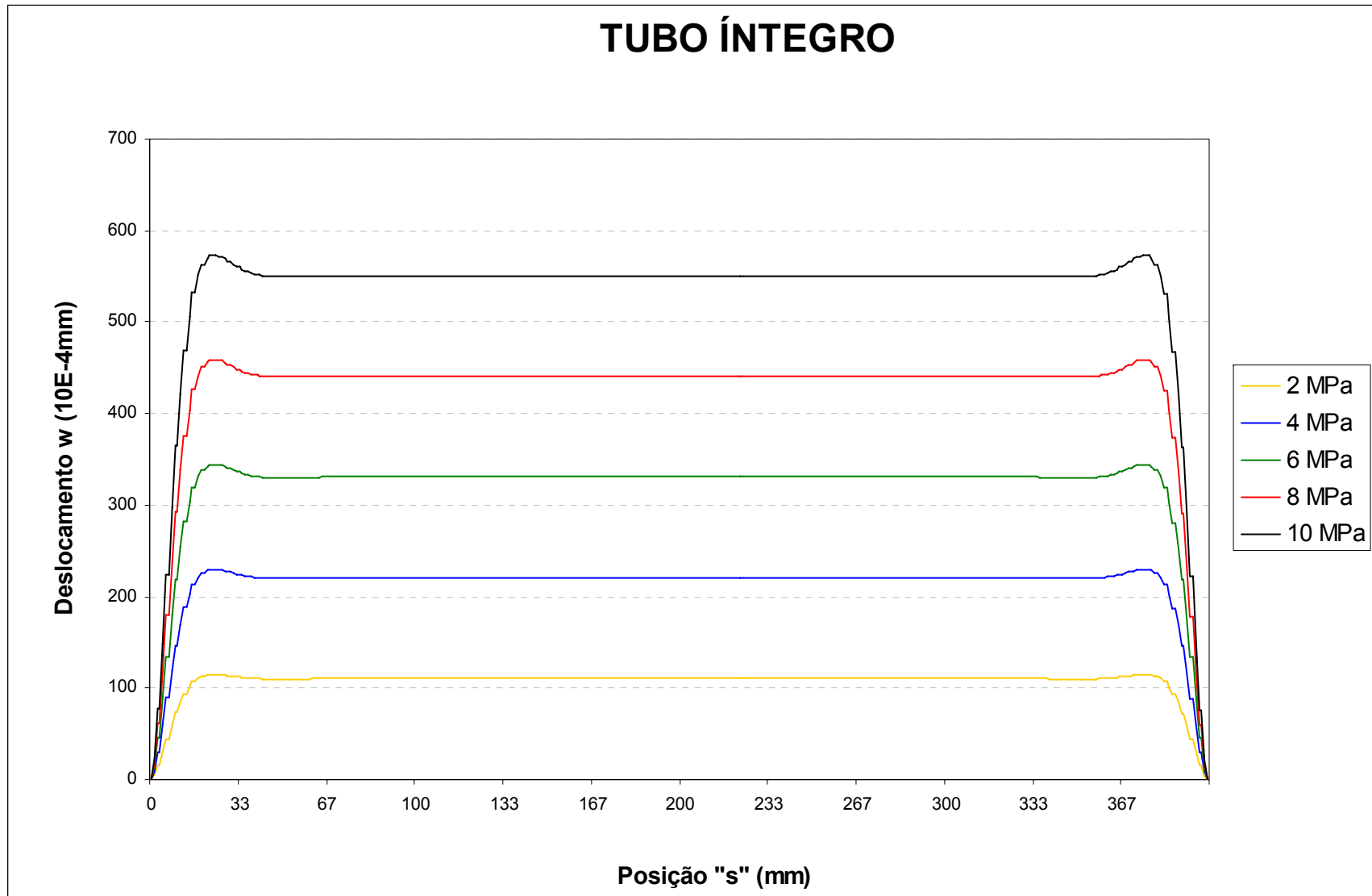


Gráfico 35 – Deslocamento radial X Posição “s” – Tubo Íntegro

# TUBO ÍNTEGRO

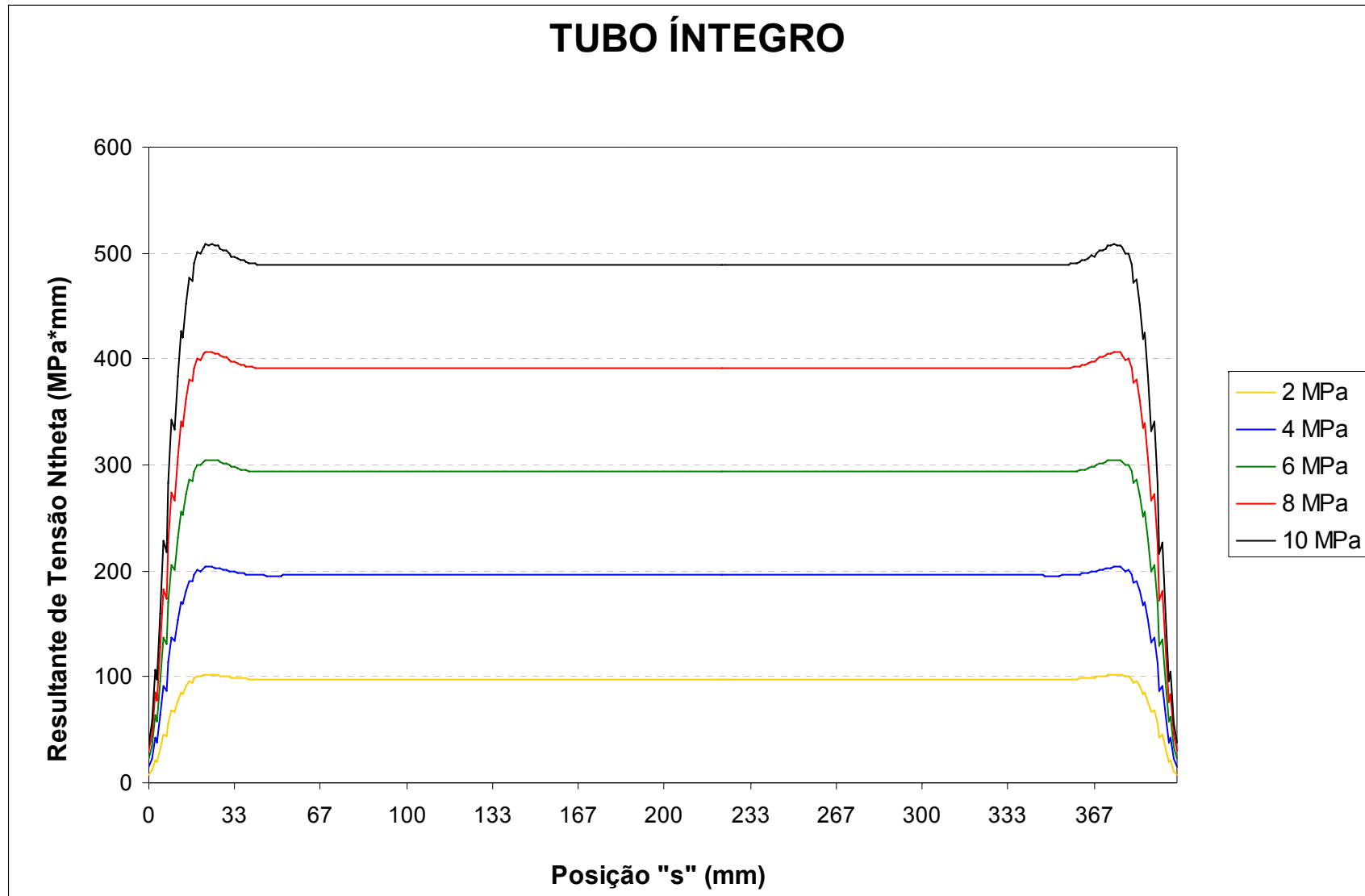


Gráfico 36 – Resultante de Tensão Circunferencial X Posição “s” – Tubo Íntegro



# TUBO ÍNTEGRO

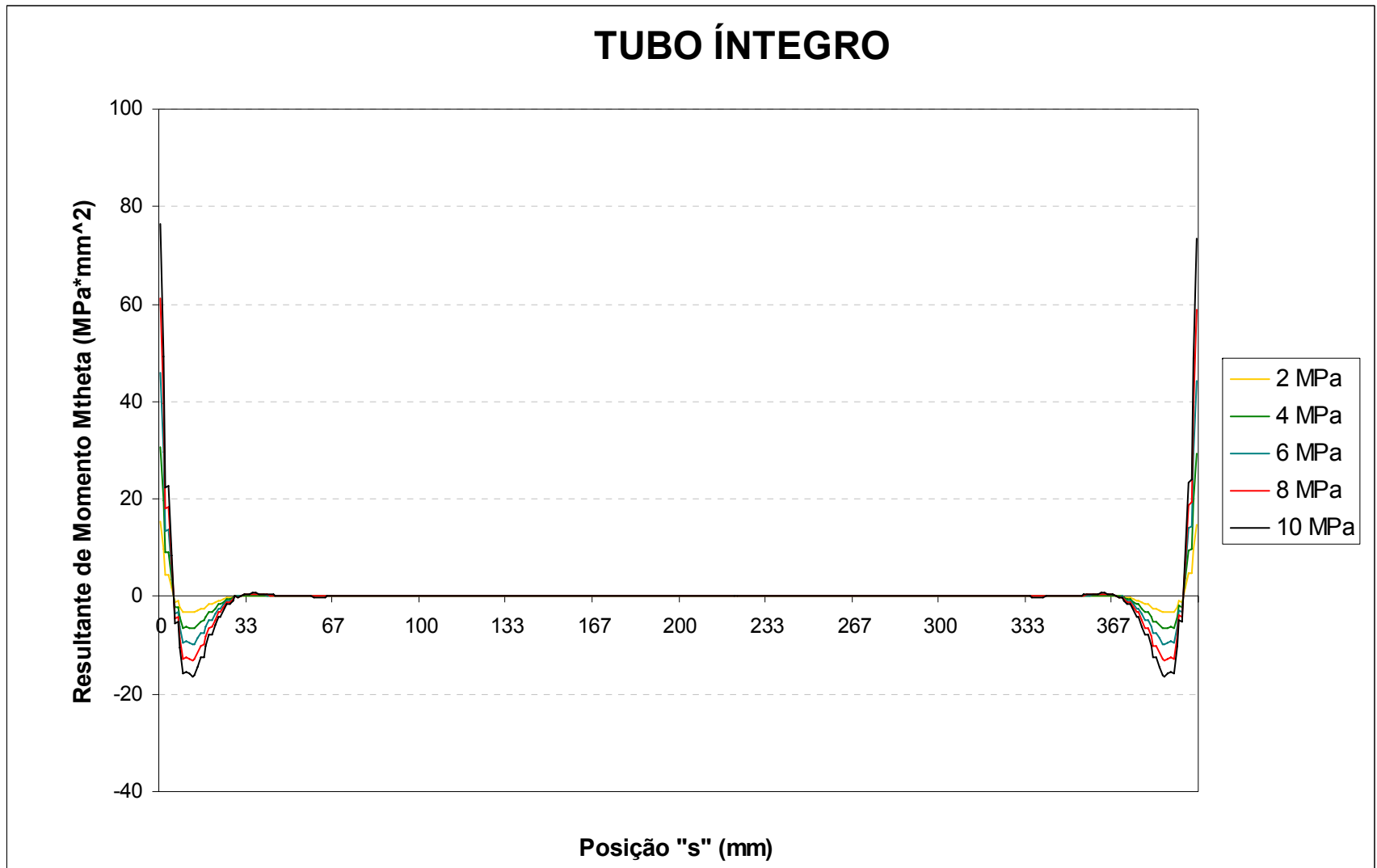


Gráfico 37 – Resultante de Momento Fletor Circunferencial X Posição “s” – Tubo Íntegro

## 4.2 Tubo Desbastado

O tubo de Aço AISI 1020, conforme configuração detalhada na seção 3.2.2, Tabela 3.19, fora submetido a vários valores de pressão, apresentando assim diferentes deslocamentos radiais máximos ( $w_{\text{máx}}$ ) e conseqüentemente, diferentes deformações circunferenciais máximas ( $\epsilon_{\text{c máx}}$ ). Esses valores estão listados na Tabela 4.3 e Tabela 4.4 respectivamente.

Tabela 4.3 – Deslocamento máximo  $w_{\text{máx}}$  – valores em mm.

<b>Pressão (MPa)</b>	<b><math>w_{\text{máx}}</math> (mm)</b>
<b>2,0</b>	2,12 E-2
<b>4,0</b>	4,23 E-2
<b>6,0</b>	6,34 E-2
<b>8,0</b>	8,45 E-2
<b>10,0</b>	1,05 E-1

Tabela 4.4 – Deformações circunferenciais máximas.

<b>Pressão (MPa)</b>	<b><math>\epsilon_{\text{c máx}}</math></b>
<b>2,0</b>	4,33 E-4
<b>4,0</b>	8,63 E-4
<b>6,0</b>	1,29 E-3
<b>8,0</b>	1,72 E-3
<b>10,0</b>	2,14 E-3

Com os dados de deslocamento máximo ( $w_{\text{máx}}$ ) e deformação circunferencial máxima ( $\epsilon_{\text{c máx}}$ ) da Tabela 4.3 e Tabela 4.4, gerou-se os gráficos 38 a 41 que se seguem:

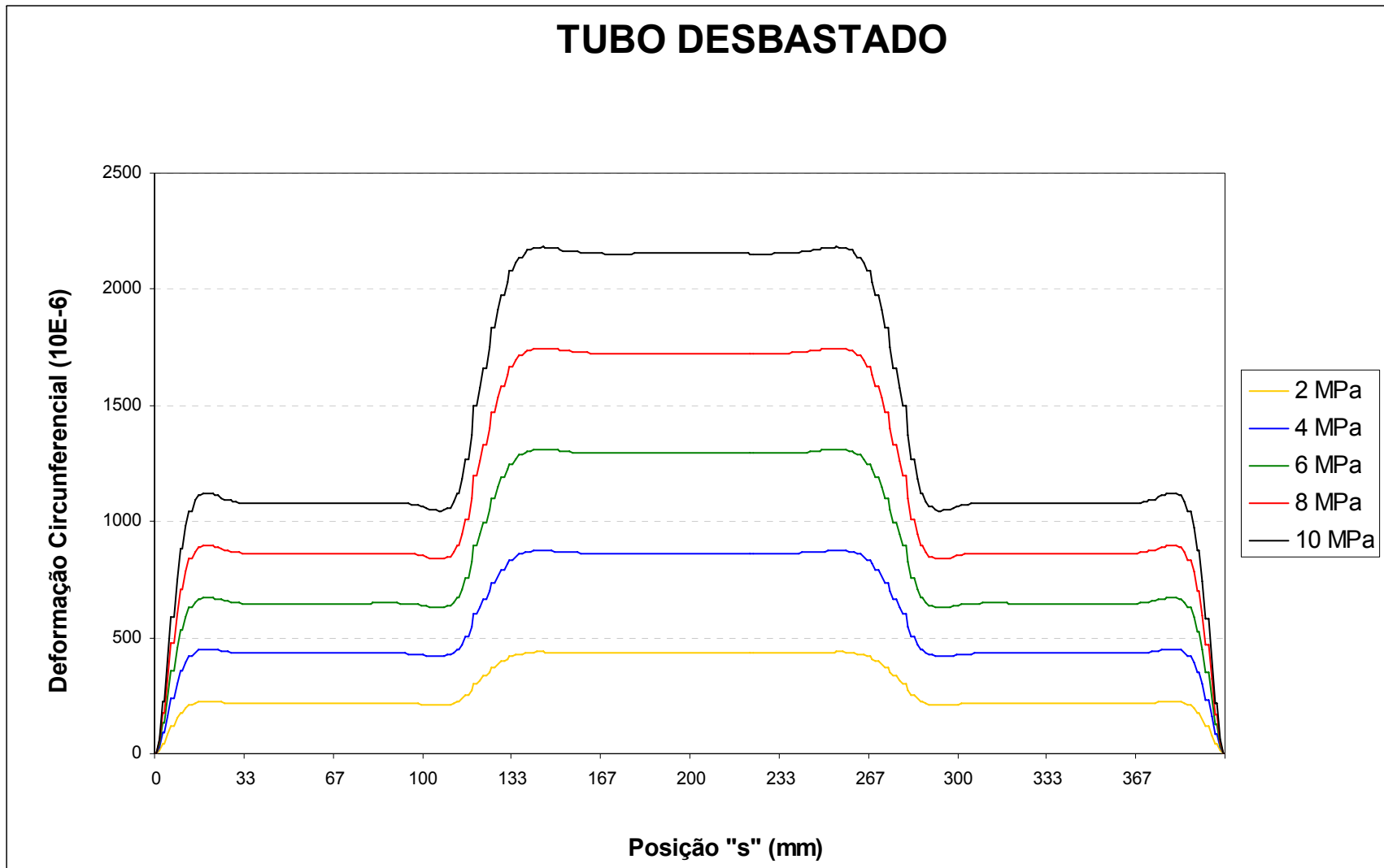


Gráfico 38 – Deformação circunferencial X Posição “s” – Tubo Desbastado

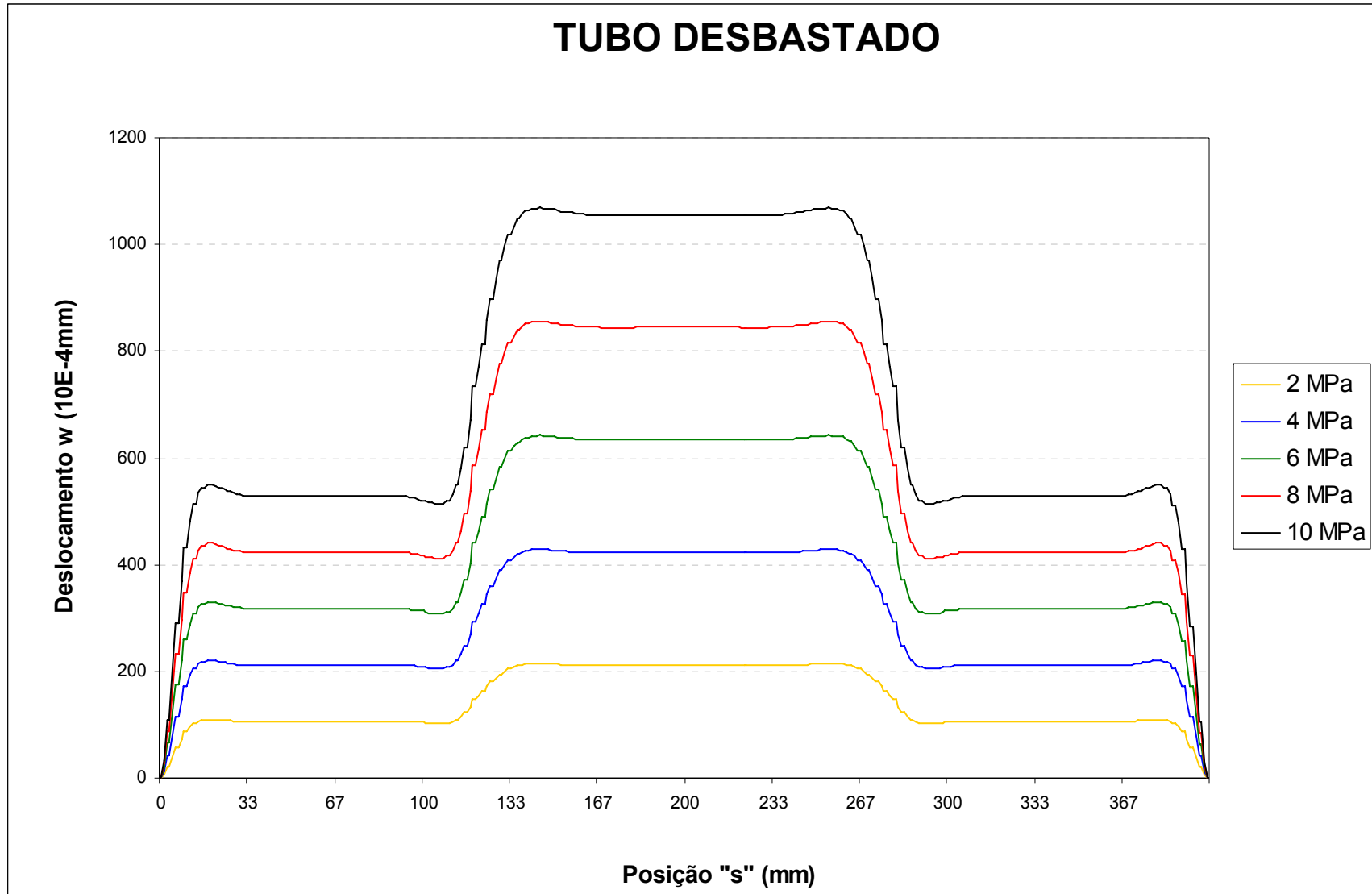


Gráfico 39 – Deslocamento radial X Posição “s” – Tubo Desbastado

# TUBO DESBASTADO

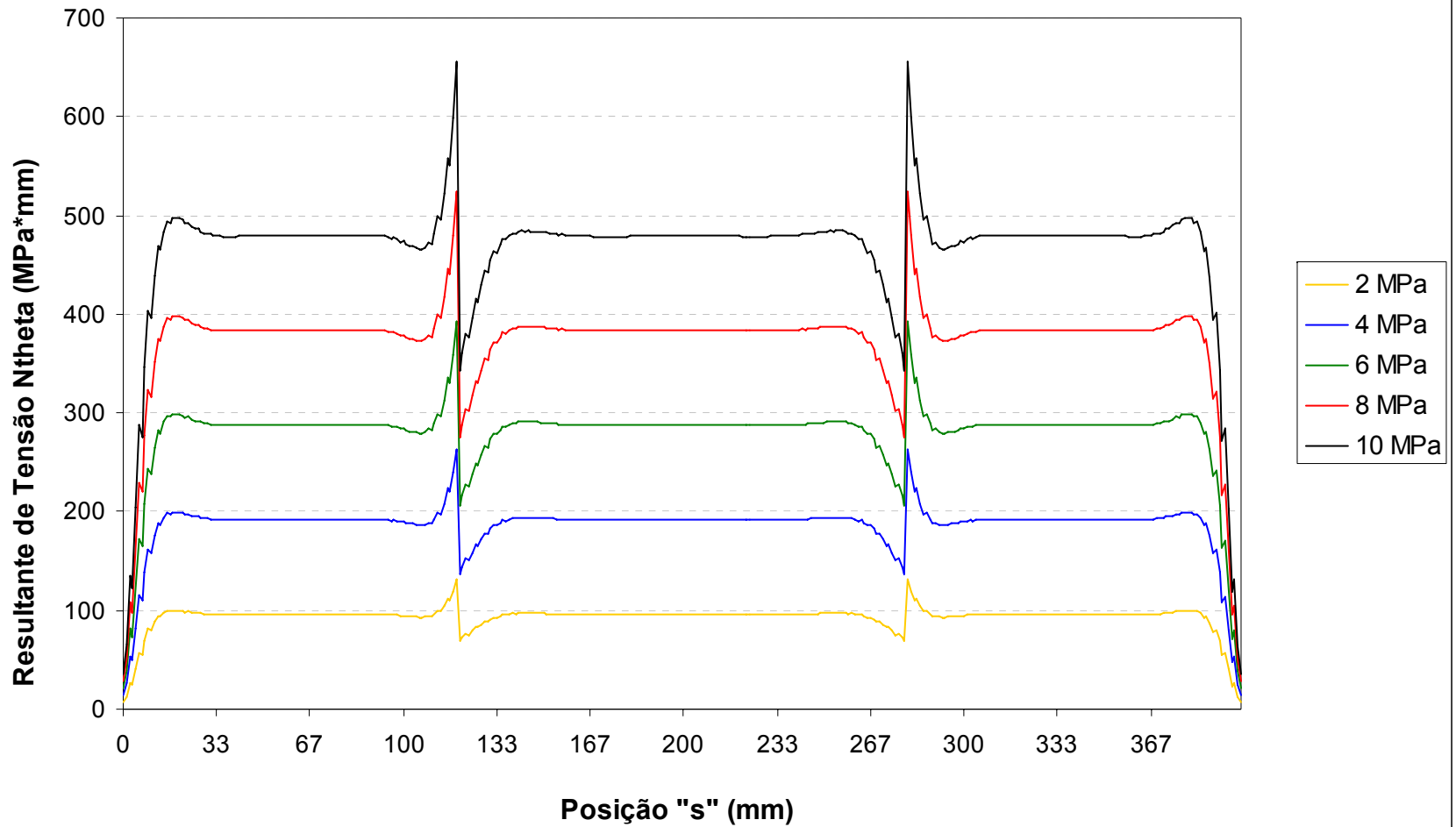


Gráfico 40 – Resultante de Tensão Circunferencial X Posição “s” – Tubo Desbastado

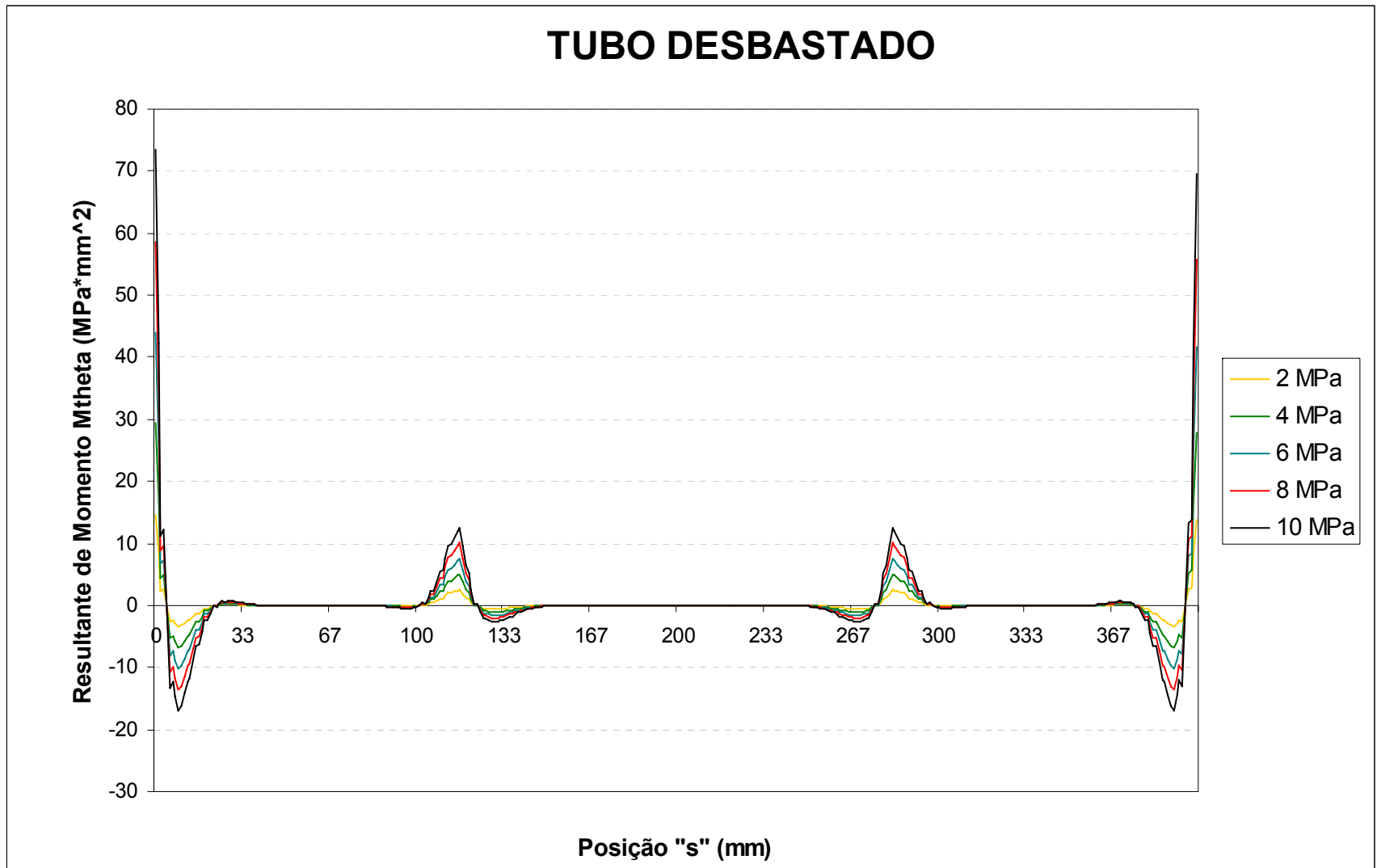


Gráfico 41 – Resultante de Momento Fletor Circunferencial X Posição “s” – Tubo Desbastado

### 4.3 Tubo Reparado

#### 4.3.1 Carbono / Epóxi

Os tubos de Aço AISI 1020 desbastados e reparados, conforme configuração detalhada na seção 3.2.3, foram submetidos a vários valores de pressão, apresentando assim diferentes deslocamentos radiais máximos ( $w_{m\acute{a}x}$ ) e conseqüentemente, diferentes deformações circunferenciais máximas ( $\epsilon_c$  máx).

Para todas as pressões, no caso dos tubos reparados com tecido de fibra de carbono e resina epóxi, utilizou-se a espessura do reparo ( $t_{rep}$ ) de 3,05mm, conforme ilustrado na Figura 4.1.

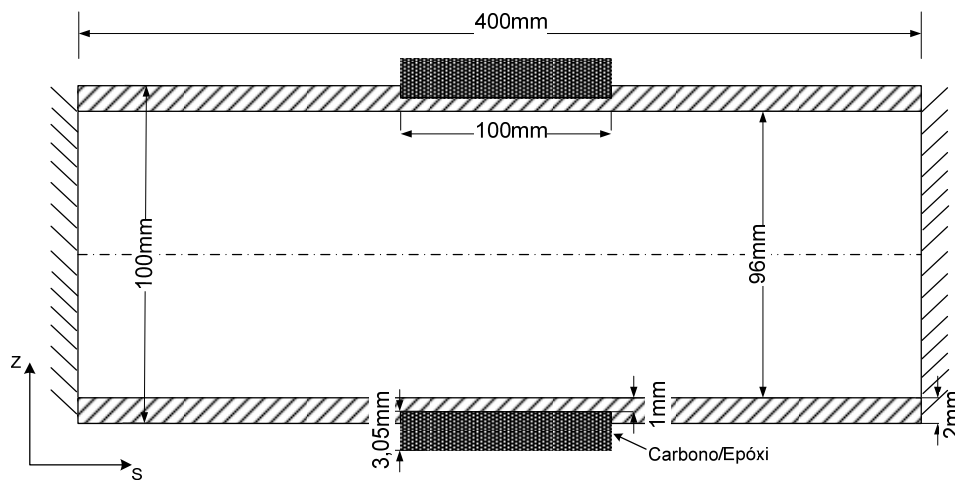


Figura 4.1 – Representação do tubo reparado – Carbono/Epóxi.

Esses valores estão listados na Tabela 4.5 e Tabela 4.6 respectivamente.

Tabela 4.5 – Deslocamento máximo  $w_{m\acute{a}x}$  – valores em mm.

Pressão (MPa)	Íntegro $w_{m\acute{a}x}$ (mm)	Desbastado $w_{m\acute{a}x}$ (mm)	Reparado $w_{m\acute{a}x}$ (mm)	Reparado / Íntegro %
2,0	1,103 E-2	2,12 E-2	1,090 E-2	98,82
4,0	2,205 E-2	4,23 E-2	2,180 E-2	98,86
6,0	3,307 E-2	6,34 E-2	3,270 E-2	98,88
8,0	4,408 E-2	8,45 E-2	4,358 E-2	98,86
10,0	5,509 E-2	1,05 E-1	5,447 E-2	98,87

Tabela 4.6 – Deformações circunferenciais máximas.

<b>Pressão (MPa)</b>	<b>Íntegro <math>\epsilon_c</math> máx</b>	<b>Desbastado <math>\epsilon_c</math> máx</b>	<b>Reparado <math>\epsilon_c</math> máx</b>	<b>Reparado / Íntegro %</b>
<b>2,0</b>	2,206 E-4	4,33 E-4	2,18 E-4	98,82
<b>4,0</b>	4,410 E-4	8,63 E-4	4,36 E-4	98,86
<b>6,0</b>	6,614 E-4	1,29 E-3	6,54 E-4	98,88
<b>8,0</b>	8,816 E-4	1,72 E-3	8,716 E-4	98,86
<b>10,0</b>	11,018 E-4	2,14 E-3	10,894 E-4	98,87

A matriz de acoplamento [B] para o reparo Carbono/Epóxi é dada por:

$$[B]_{C/E} = \begin{bmatrix} -232,99 & -91,57 & 0 \\ -91,57 & -232,99 & 0 \\ 0 & 0 & -114,89 \end{bmatrix} [N]$$

Com os dados de deslocamento máximo ( $w_{\text{máx}}$ ) e deformação circunferencial máxima ( $\epsilon_c$  máx) da Tabela 4.5 e Tabela 4.6, gerou-se os gráficos 42 a 55 que se seguem:



# TUBO REPARADO / CARBONO/EPÓXI

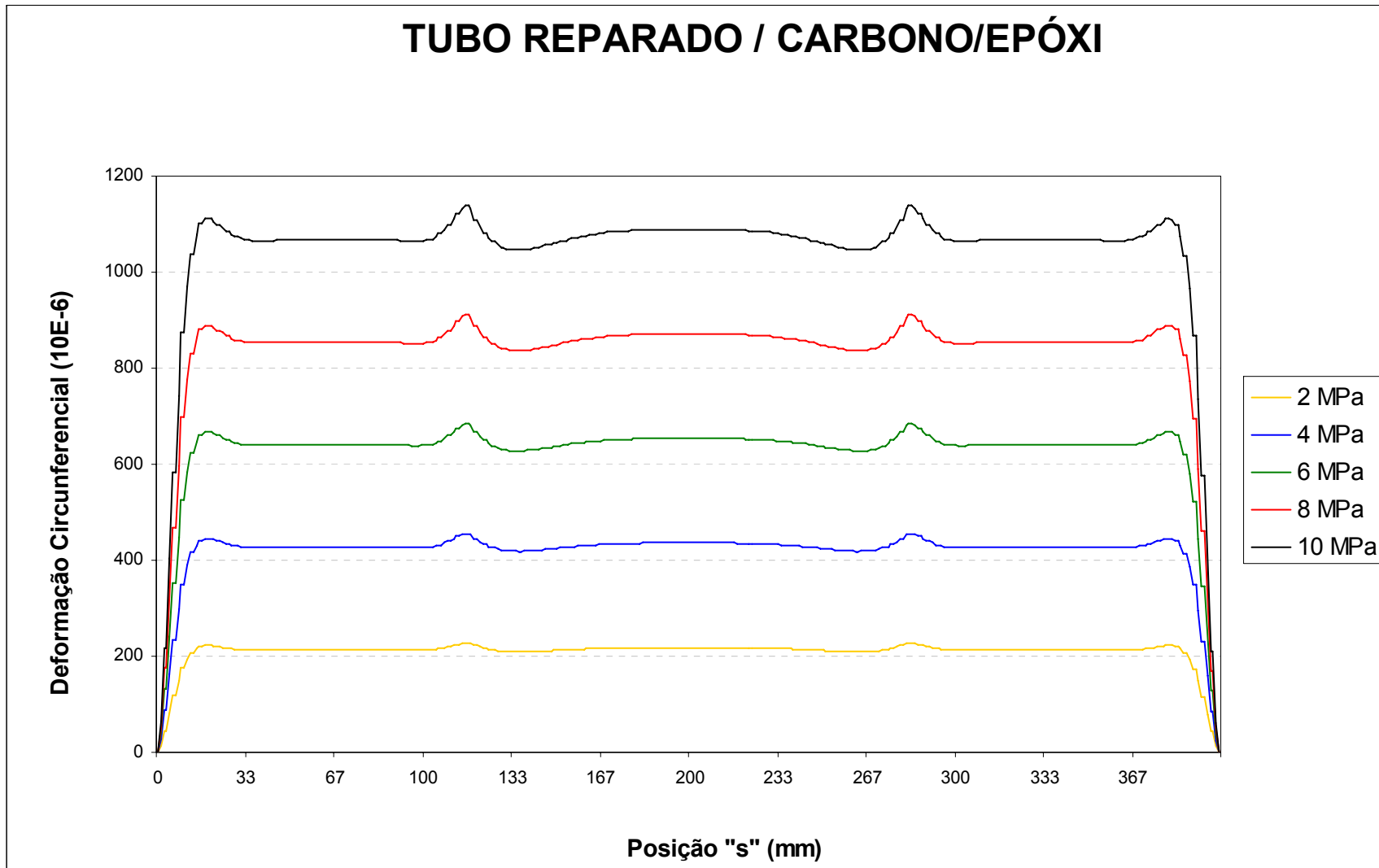


Gráfico 42 – Deformação circunferencial X Posição “s” – Tubo Reparado Carbono/Epóxi

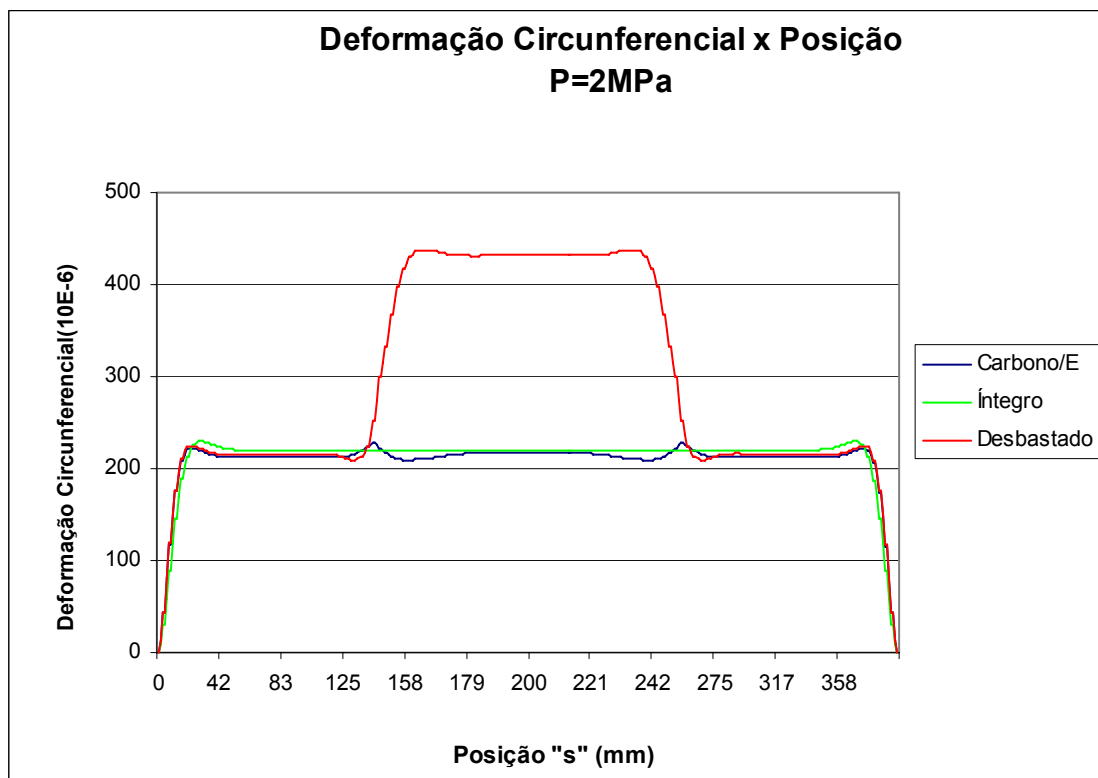


Gráfico 43 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=2 MPa

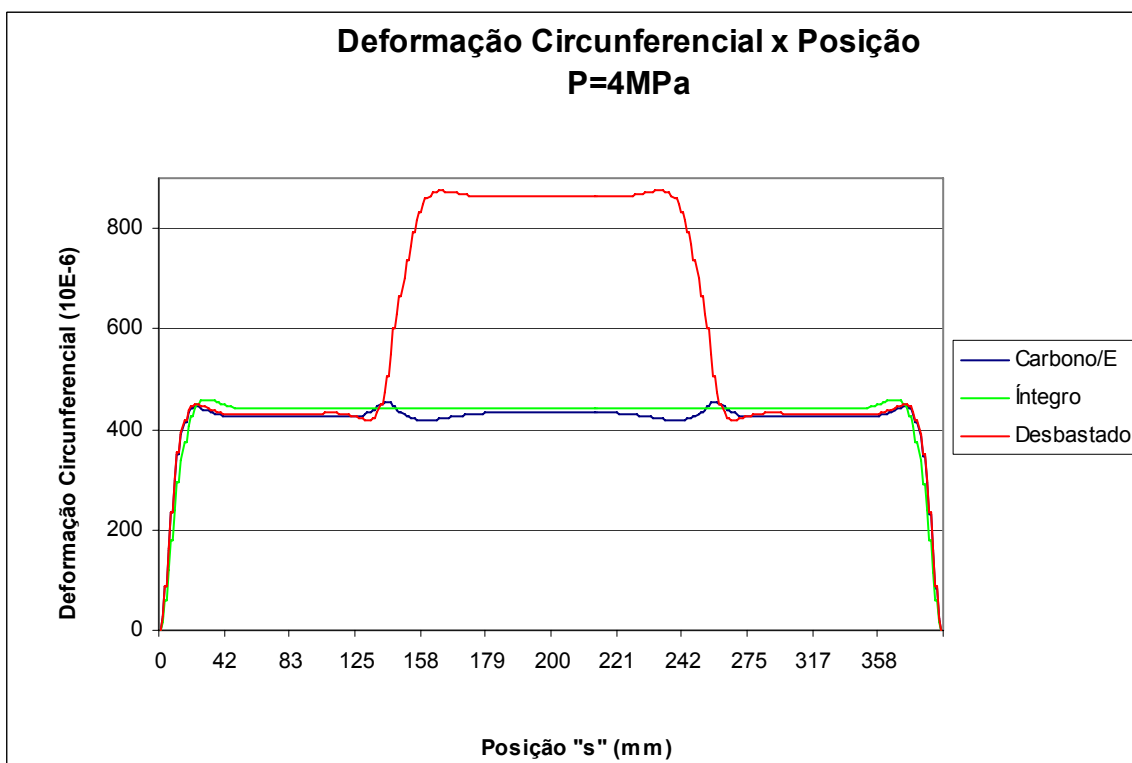


Gráfico 44 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=4 MPa

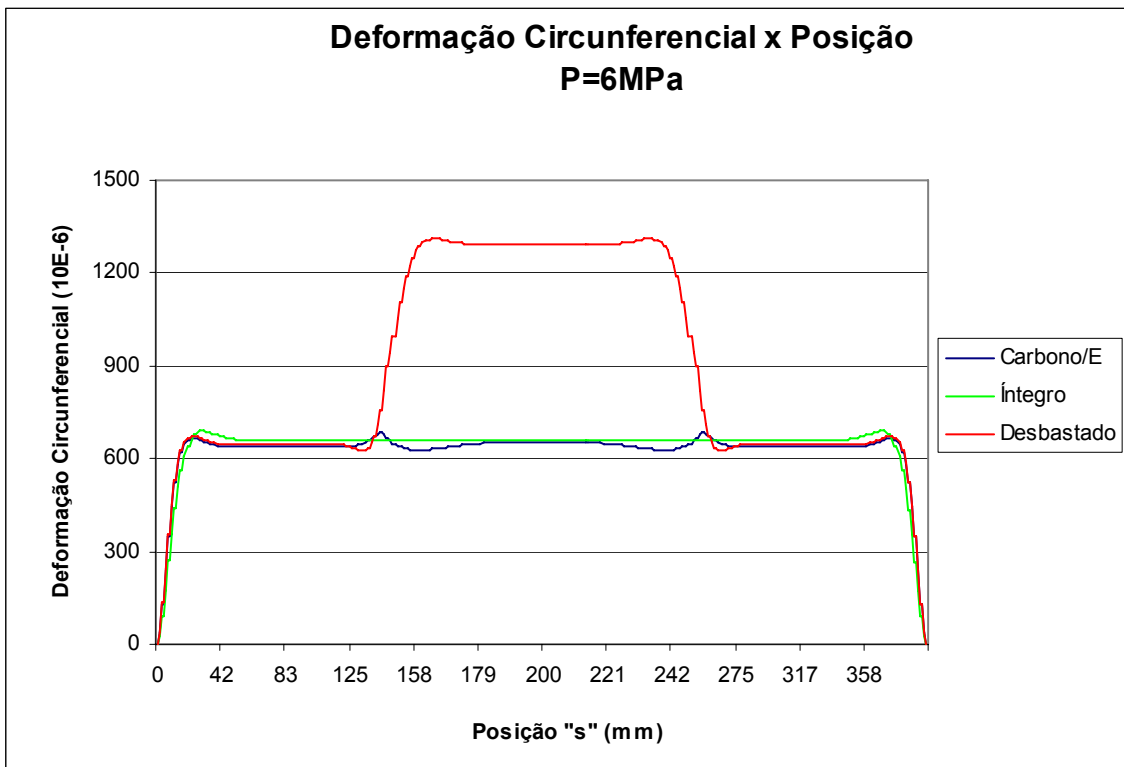


Gráfico 45 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=6 MPa

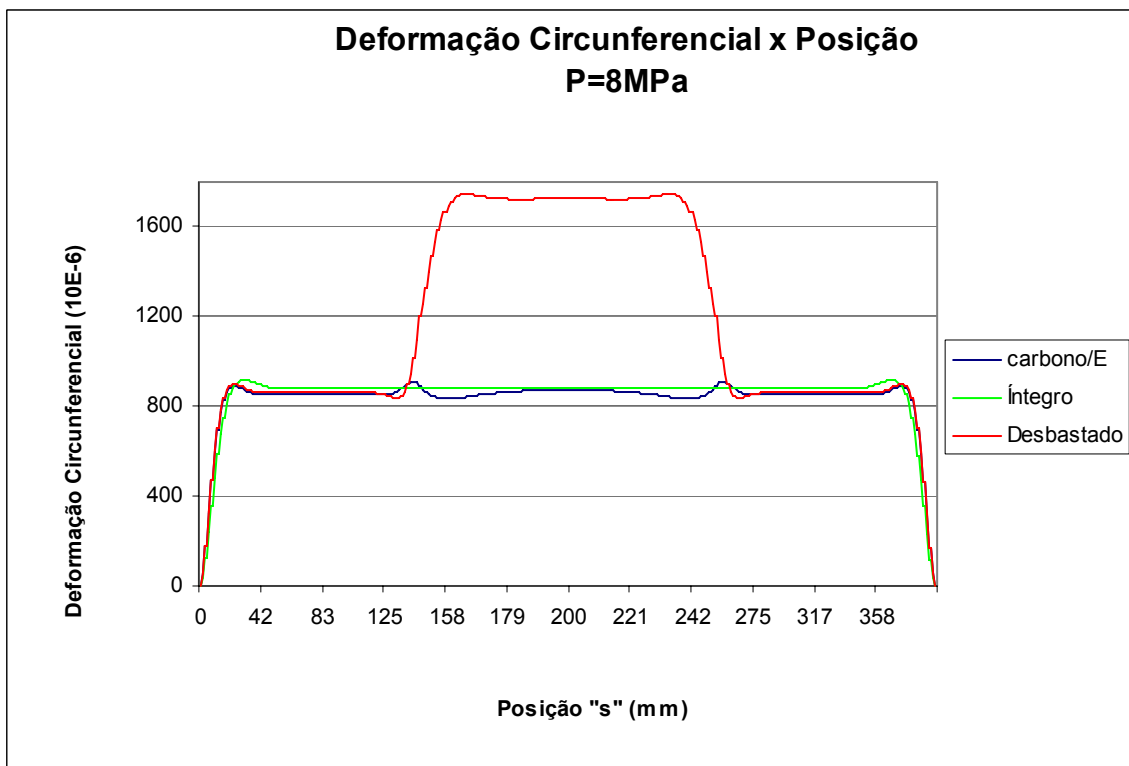


Gráfico 46 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=8 MPa

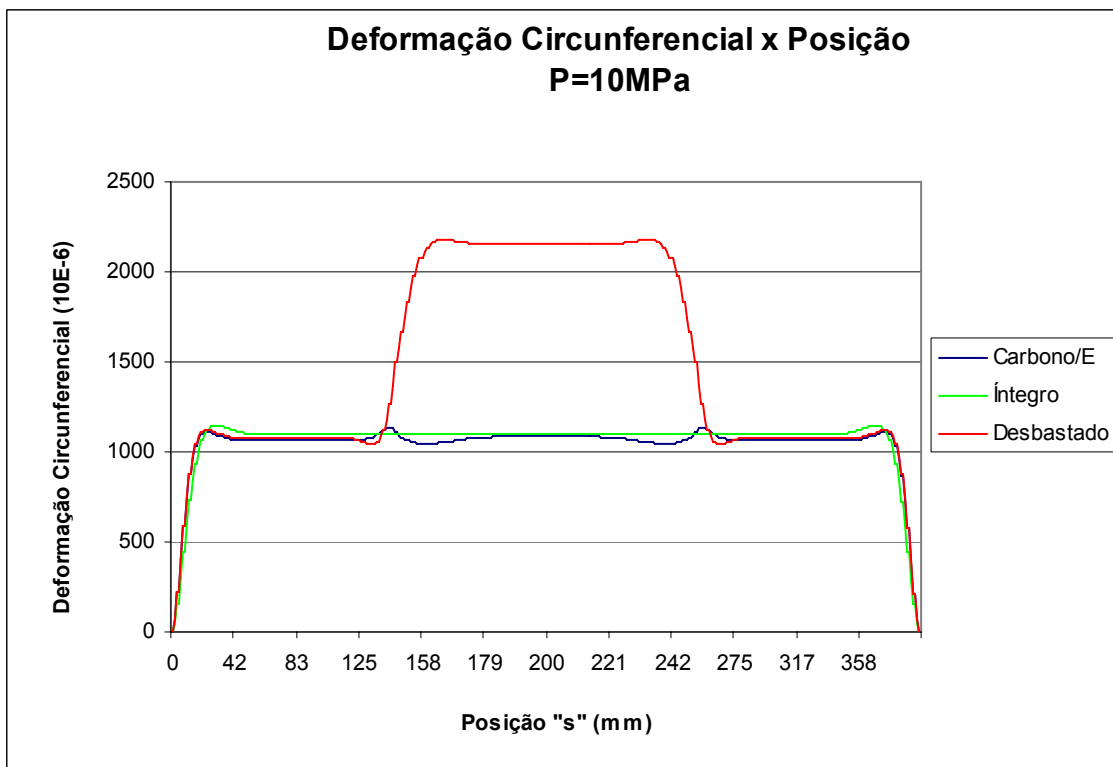


Gráfico 47 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=10 MPa

# TUBO REPARADO / CARBONO/EPÓXI

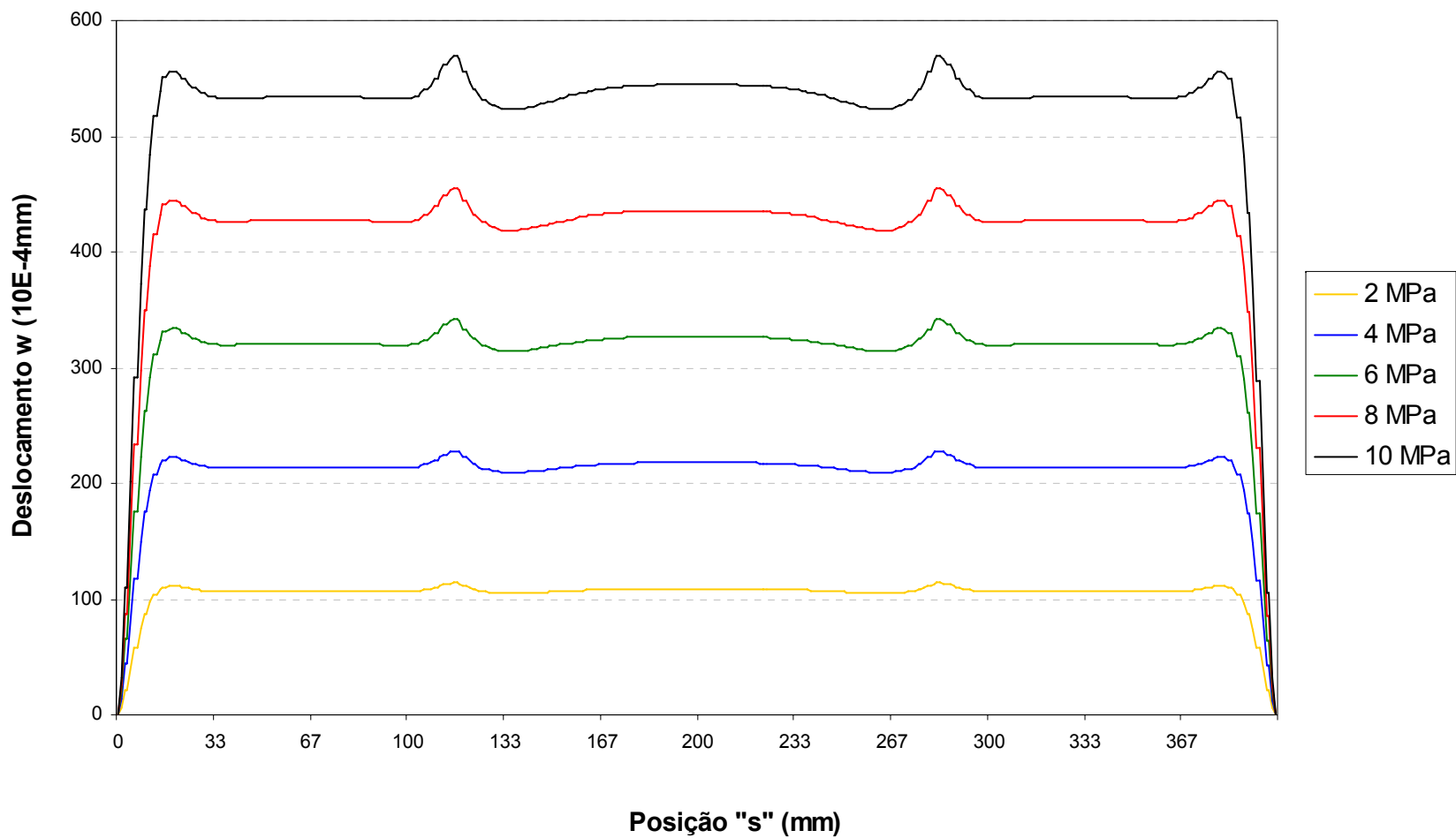


Gráfico 48 – Deslocamento radial X Posição “s” – Tubo Reparado Carbono/Epóxi

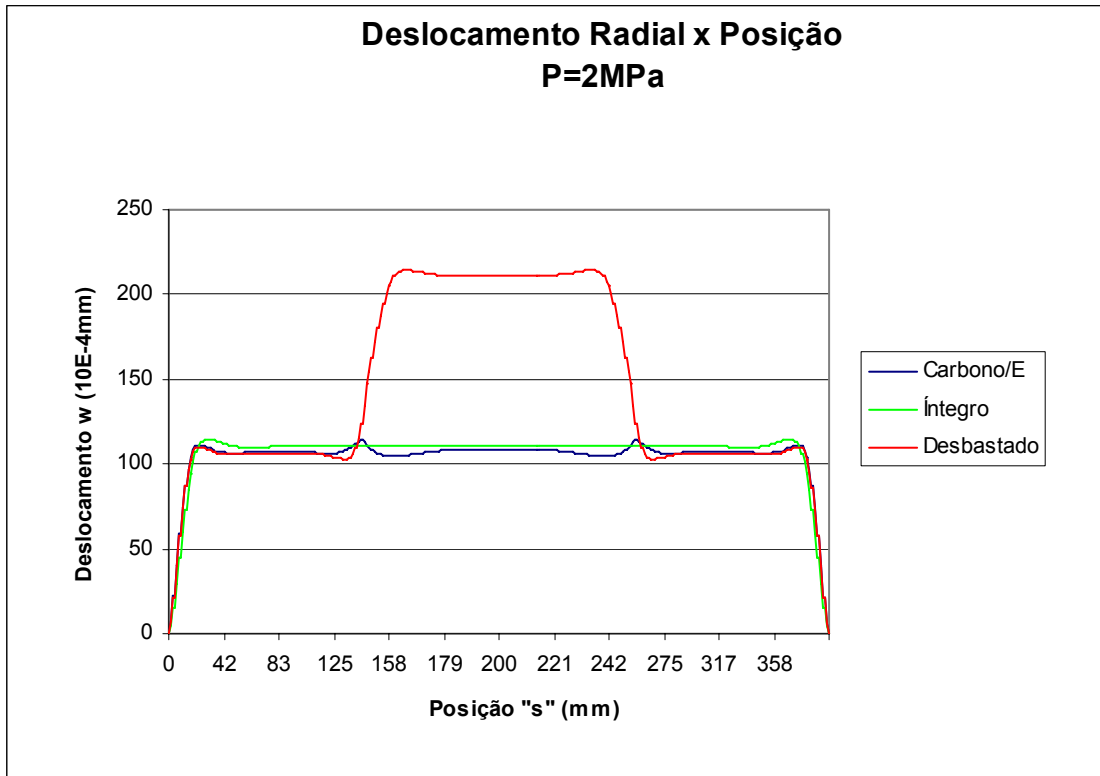


Gráfico 49 – Comparativo Deslocamento radial X Posição “s” – P=2 MPa

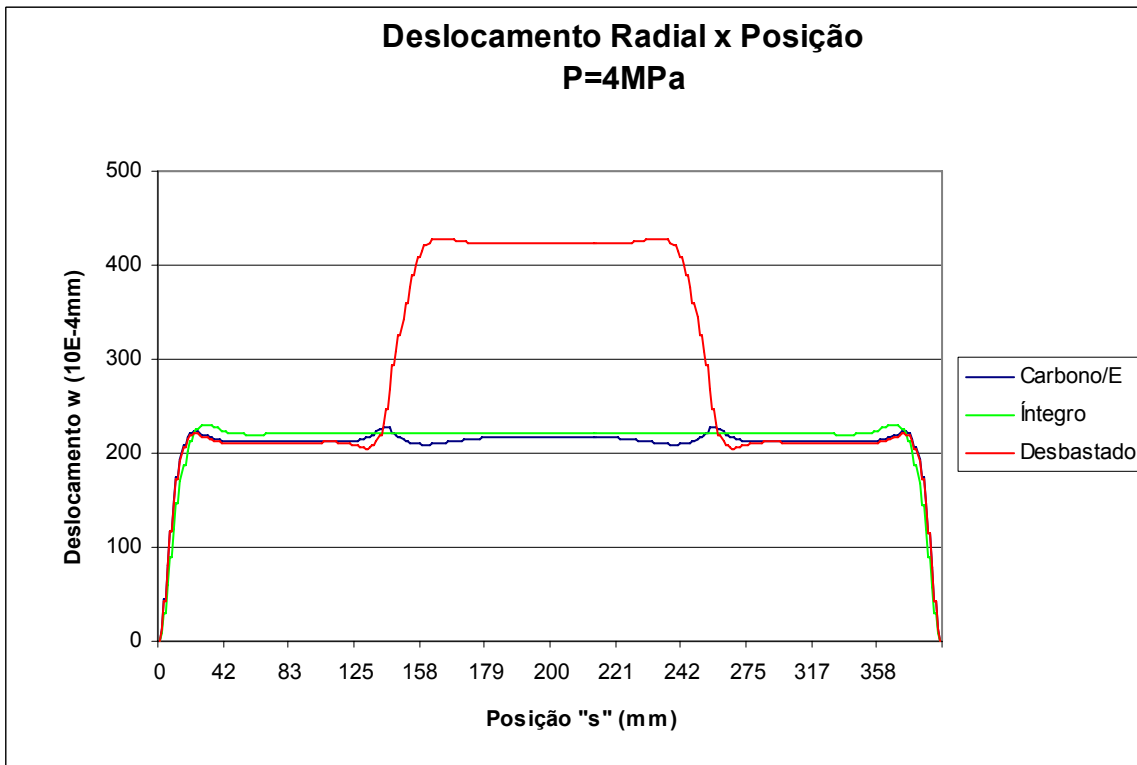


Gráfico 50 – Comparativo Deslocamento radial X Posição “s” – P=4 MPa

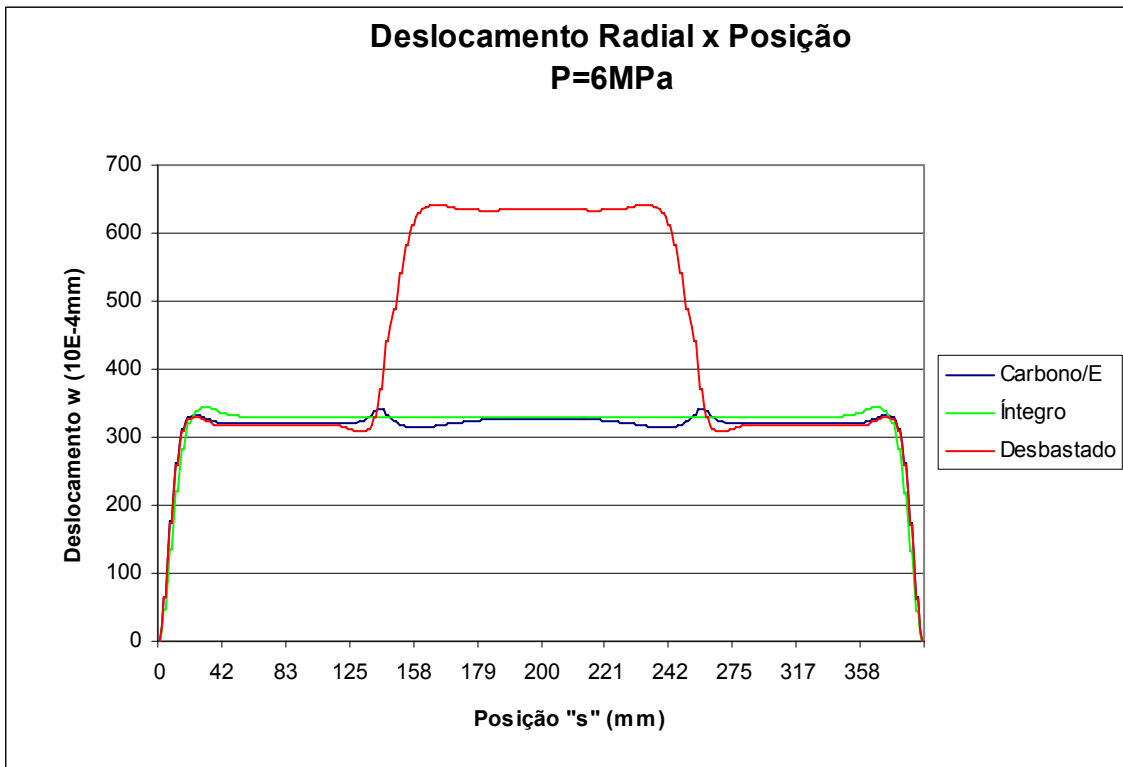


Gráfico 51 – Comparativo Deslocamento radial X Posição “s” – P=6 MPa

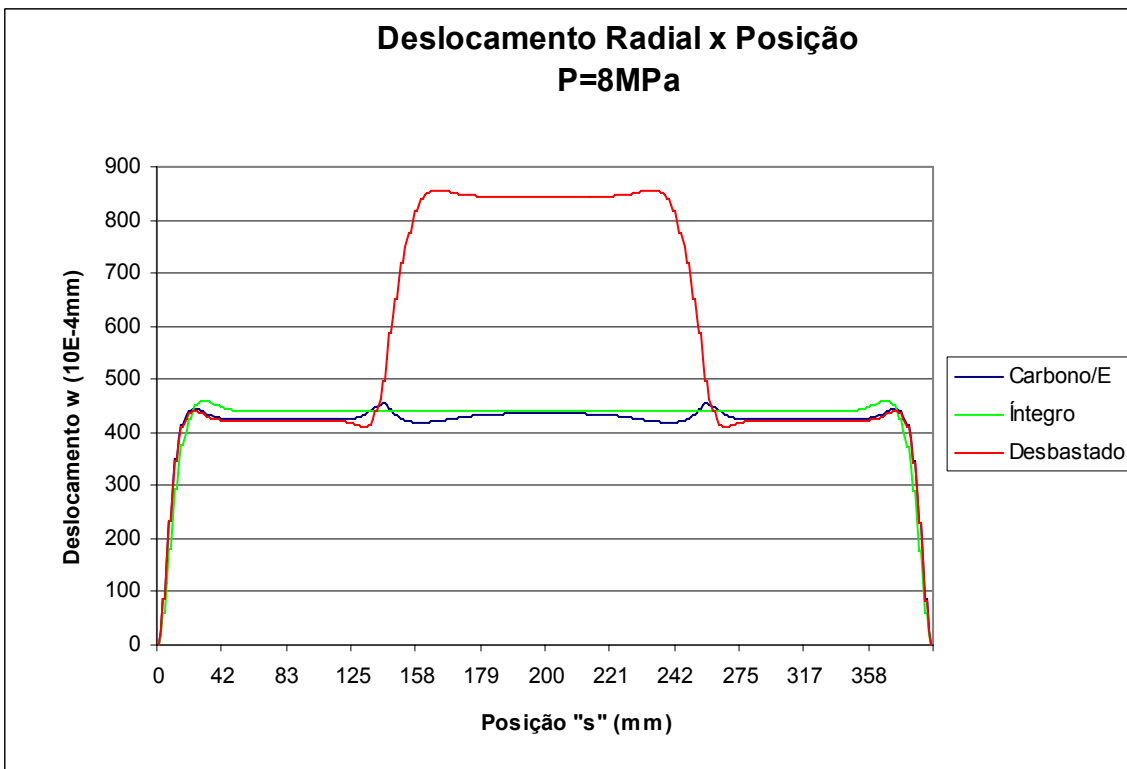


Gráfico 52 – Comparativo Deslocamento radial X Posição “s” – P=8 MPa

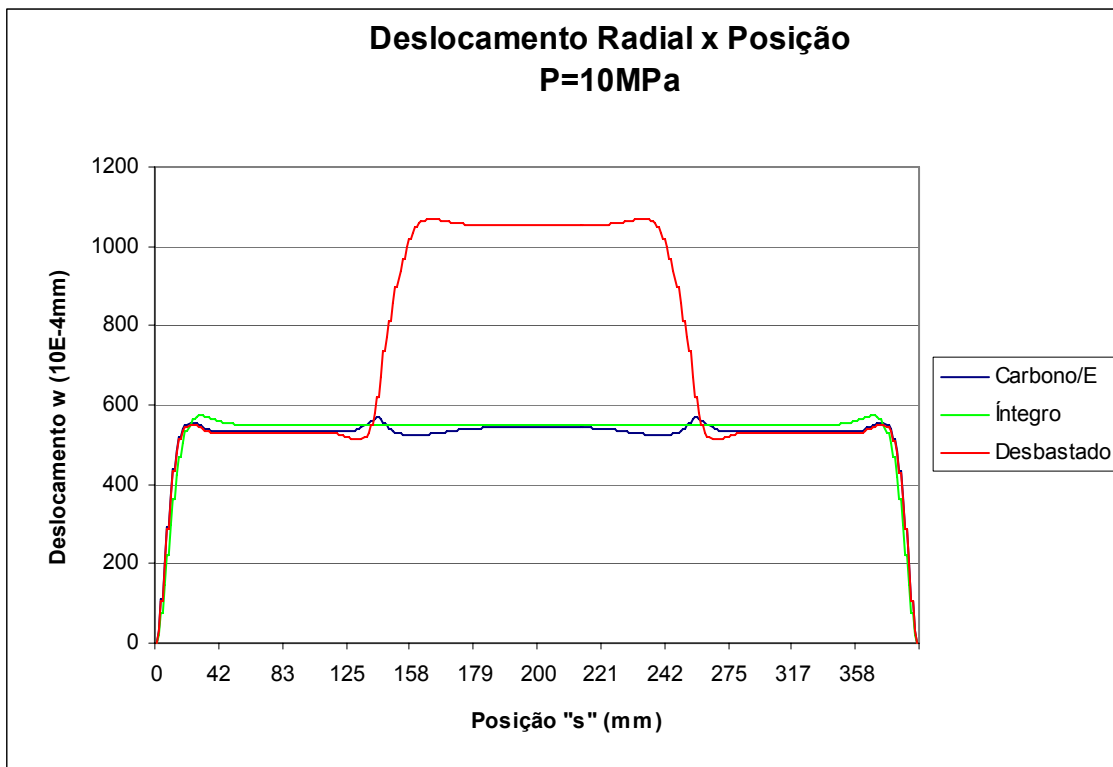


Gráfico 53 – Comparativo Deslocamento radial X Posição “s” – P=10 MPa



# TUBO REPARADO / CARBONO/EPÓXI

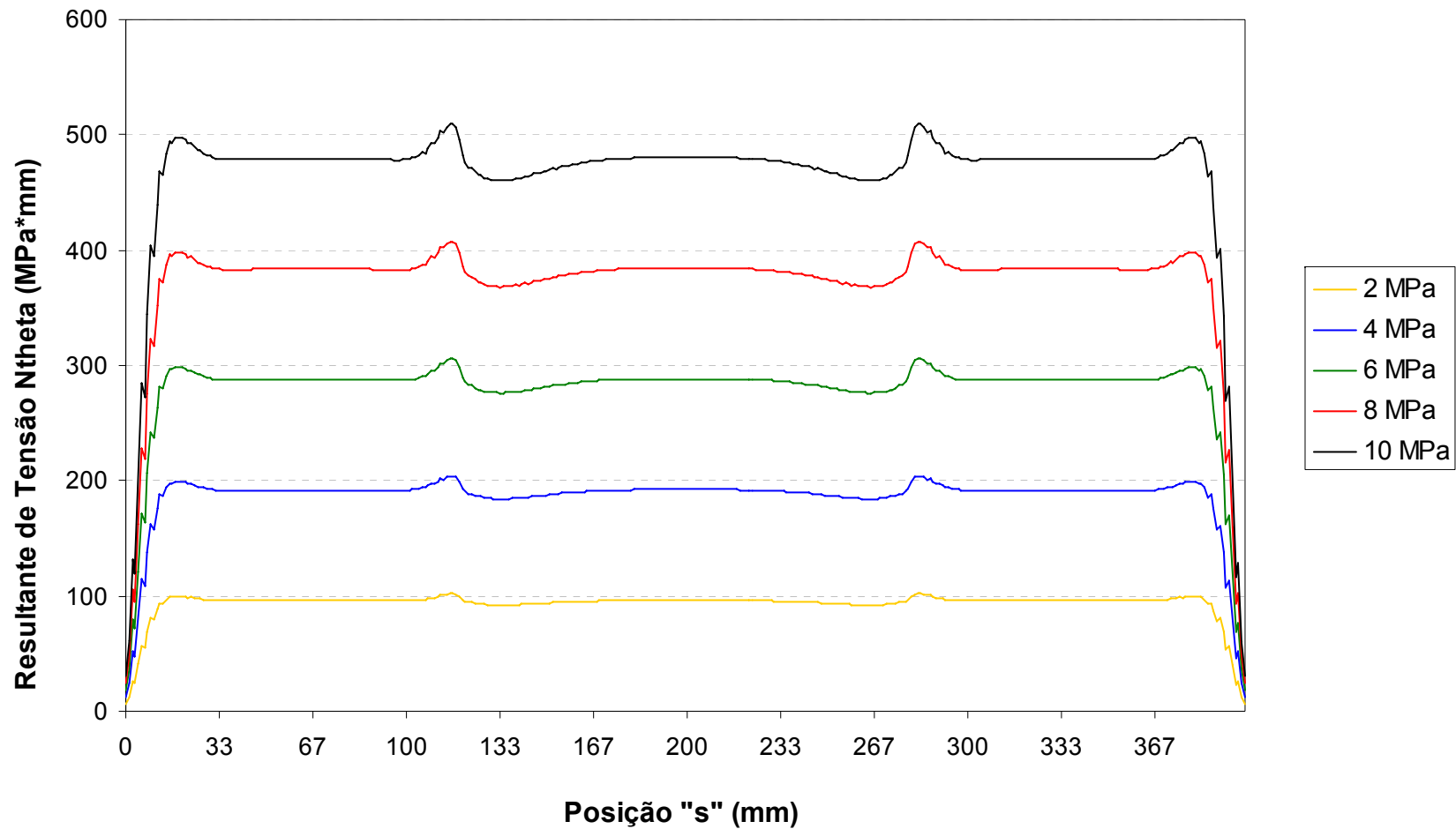


Gráfico 54 – Resultante de Tensão Circunferencial X Posição “s” – Tubo Reparado Carbono/Epóxi

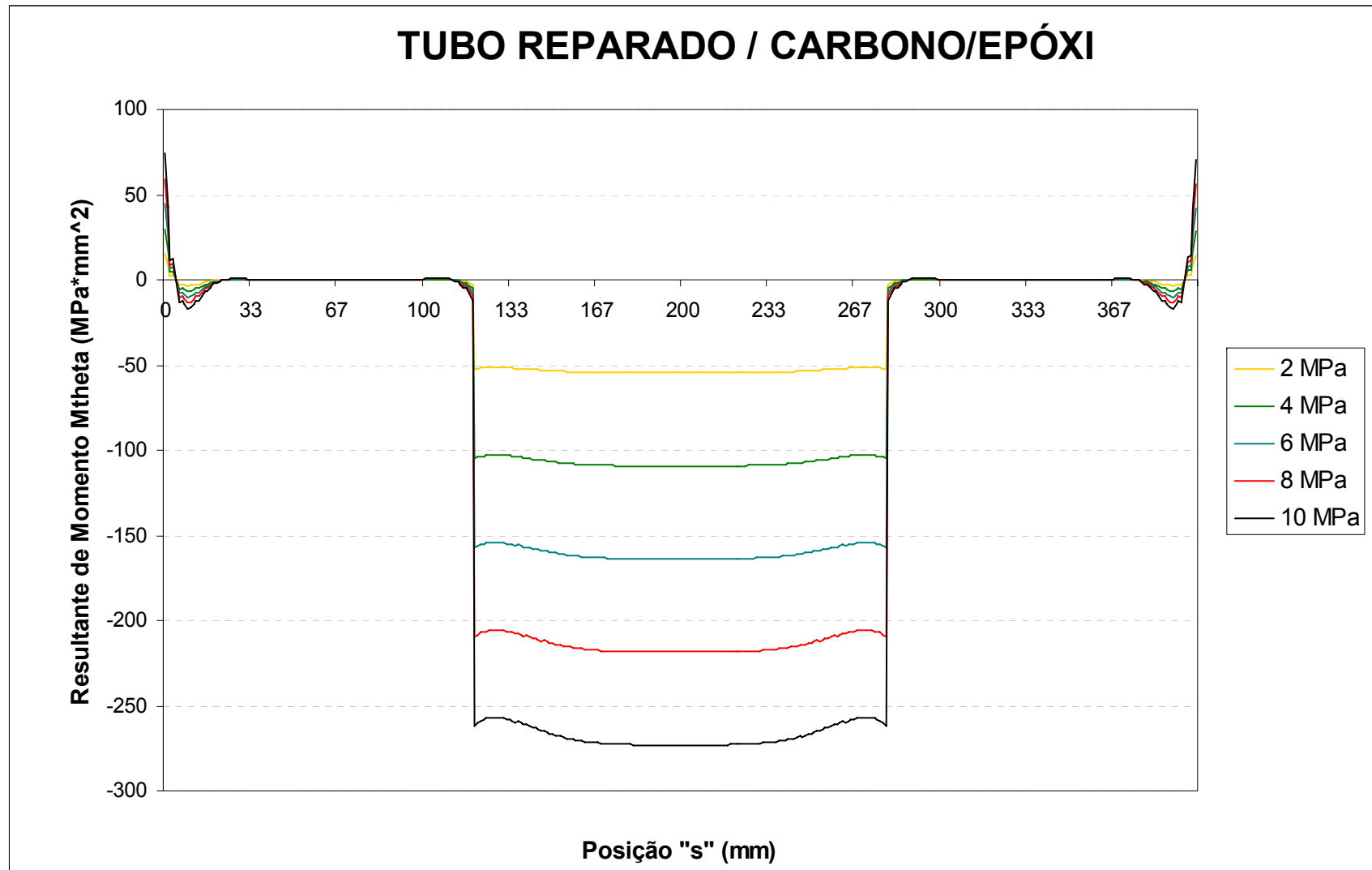


Gráfico 55 – Resultante de Momento Fletor Circunferencial X Posição “s” – Tubo Reparado Carbono/Epóxi

### 4.3.2 Kevlar / Epóxi

Os tubos de Aço AISI 1020 desbastados e reparados, conforme configuração detalhada na seção 3.2.3, foram submetidos a vários valores de pressão, apresentando assim diferentes deslocamentos radiais máximos ( $w_{m\acute{a}x}$ ) e conseqüentemente, diferentes deformações circunferenciais máximas ( $\epsilon_c$  máx).

Para todas as pressões, no caso dos tubos reparados com tecido de fibra de Kevlar e resina epóxi, utilizou-se a espessura do reparo ( $t_{rep}$ ) de 6,67mm, conforme ilustrado na Figura 4.2.

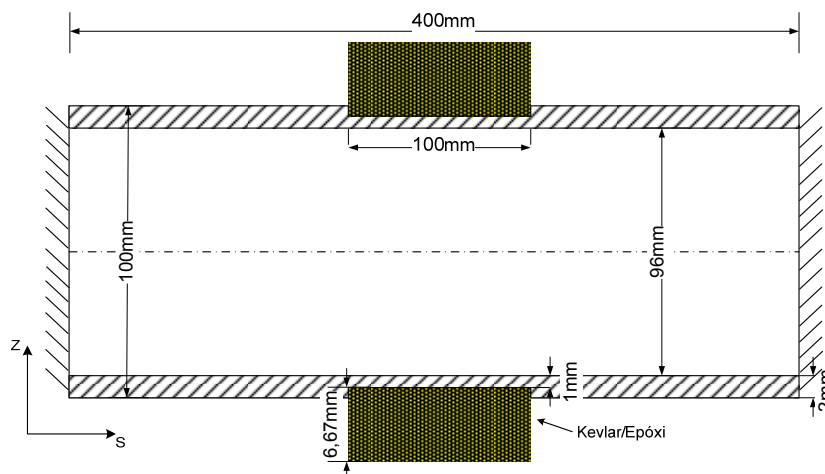


Figura 4.2 – Representação do tubo reparado – Kevlar/Epóxi.

Esses valores estão listados na Tabela 4.7 e Tabela 4.8 respectivamente.

Tabela 4.7 – Deslocamento máximo  $w_{m\acute{a}x}$  – valores em mm.

Pressão (MPa)	Íntegro $w_{m\acute{a}x}$ (mm)	Desbastado $w_{m\acute{a}x}$ (mm)	Reparado $w_{m\acute{a}x}$ (mm)	Reparado / Íntegro %
2,0	1,103 E-2	2,12 E-2	1,070 E-2	97
4,0	2,205 E-2	4,23 E-2	2,140 E-2	97
6,0	3,307 E-2	6,34 E-2	3,208 E-2	97
8,0	4,408 E-2	8,45 E-2	4,276 E-2	97
10,0	5,509 E-2	1,05 E-1	5,344 E-2	97

Tabela 4.8 – Deformações circunferenciais máximas.

<b>Pressão (MPa)</b>	<b>Íntegro</b> $\epsilon_c \text{ máx}$	<b>Desbastado</b> $\epsilon_c \text{ máx}$	<b>Reparado</b> $\epsilon_c \text{ máx}$	<b>Reparado / Íntegro %</b>
<b>2,0</b>	2,206 E-4	4,33 E-4	2,140 E-4	97
<b>4,0</b>	4,410 E-4	8,63 E-4	4,278 E-4	97
<b>6,0</b>	6,614 E-4	1,29 E-3	6,416 E-4	97
<b>8,0</b>	8,816 E-4	1,72 E-3	8,552 E-4	97
<b>10,0</b>	11,018 E-4	2,14 E-3	10,688 E-4	97

A matriz de acoplamento [B] para o reparo Kevlar/Epóxi é dada por:

$$[B]_{K/E} = \begin{bmatrix} -624,01 & -190,36 & 0 \\ -190,36 & -624,01 & 0 \\ 0 & 0 & -250,13 \end{bmatrix} [N]$$

Com os dados de deslocamento máximo ( $w_{\text{máx}}$ ) e deformação circunferencial máxima ( $\epsilon_c \text{ máx}$ ) da Tabela 4.7 e Tabela 4.8, gerou-se os gráficos 56 a 69 que se seguem:

## TUBO REPARADO / KEVLAR/EPÓXI

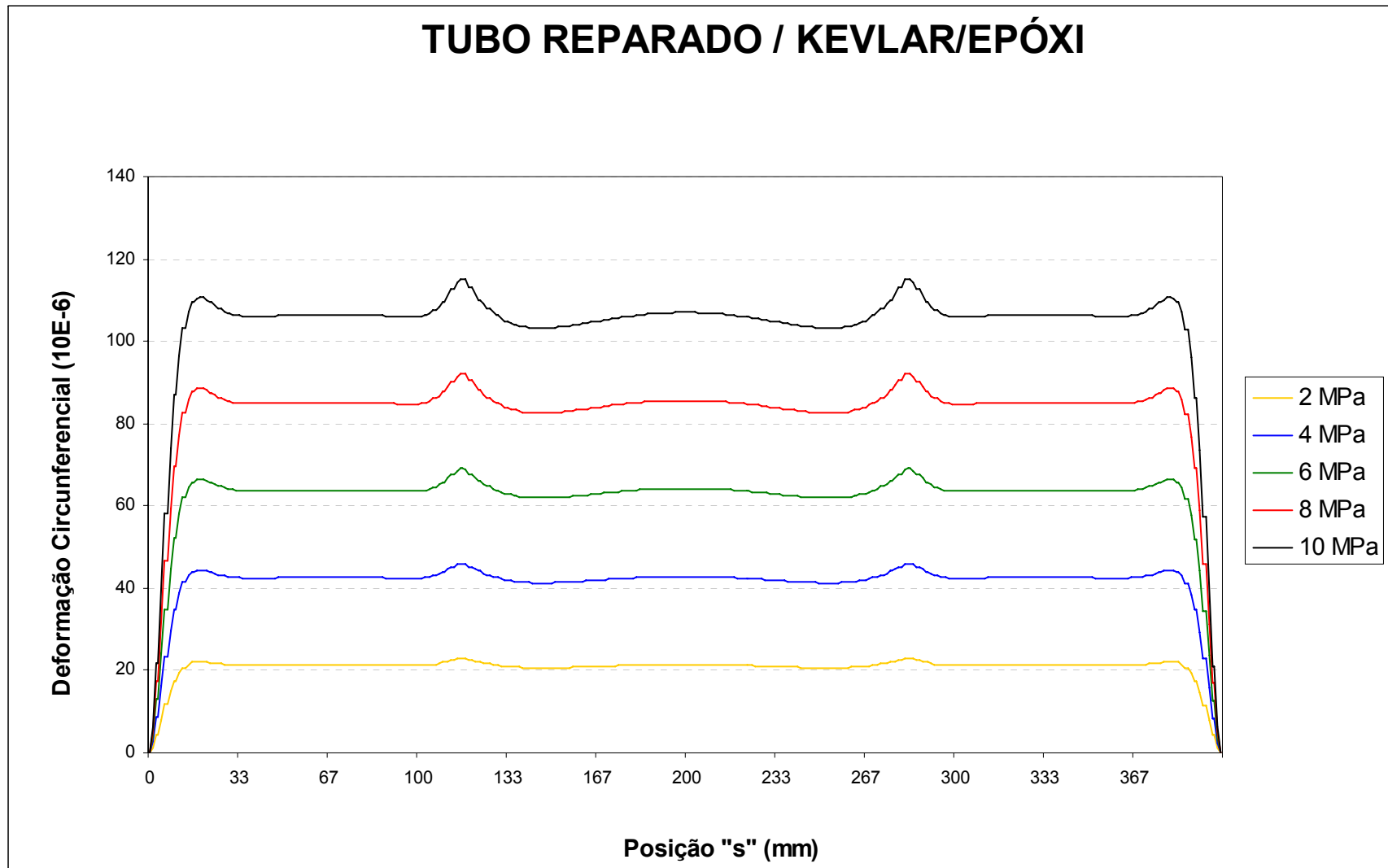


Gráfico 56 – Deformação circunferencial X Posição “s” – Tubo Reparado Kevlar/Epóxi

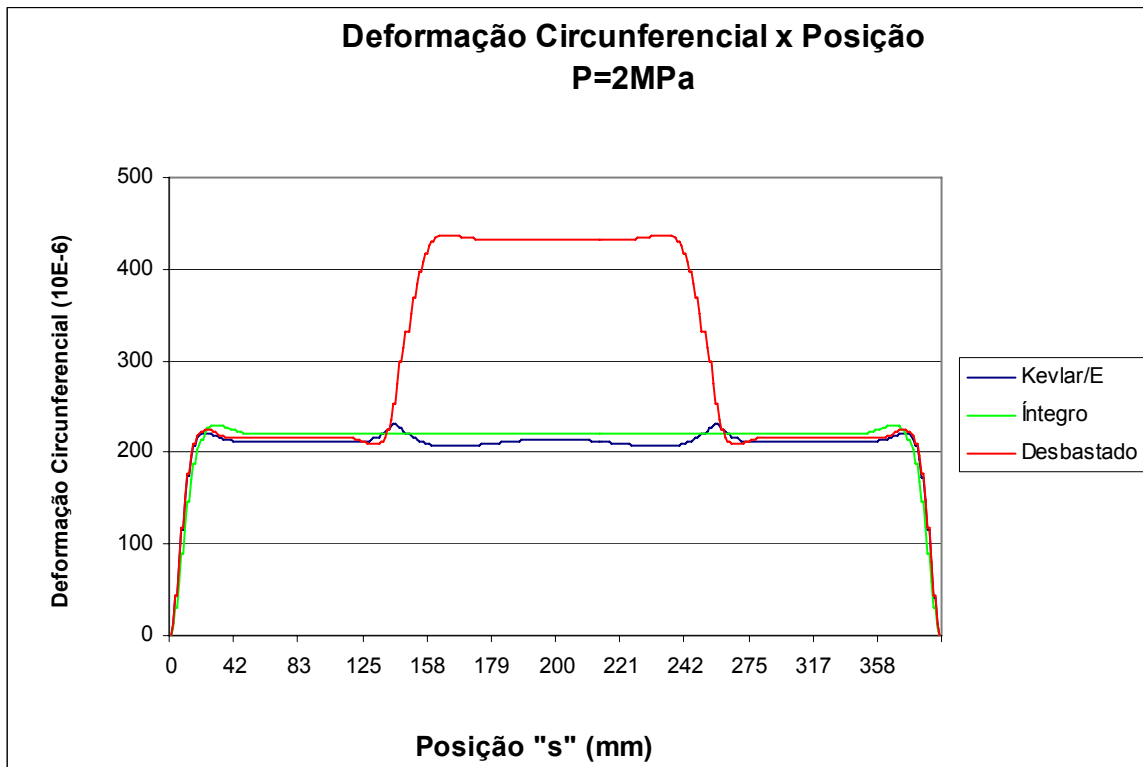


Gráfico 57 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=2 MPa

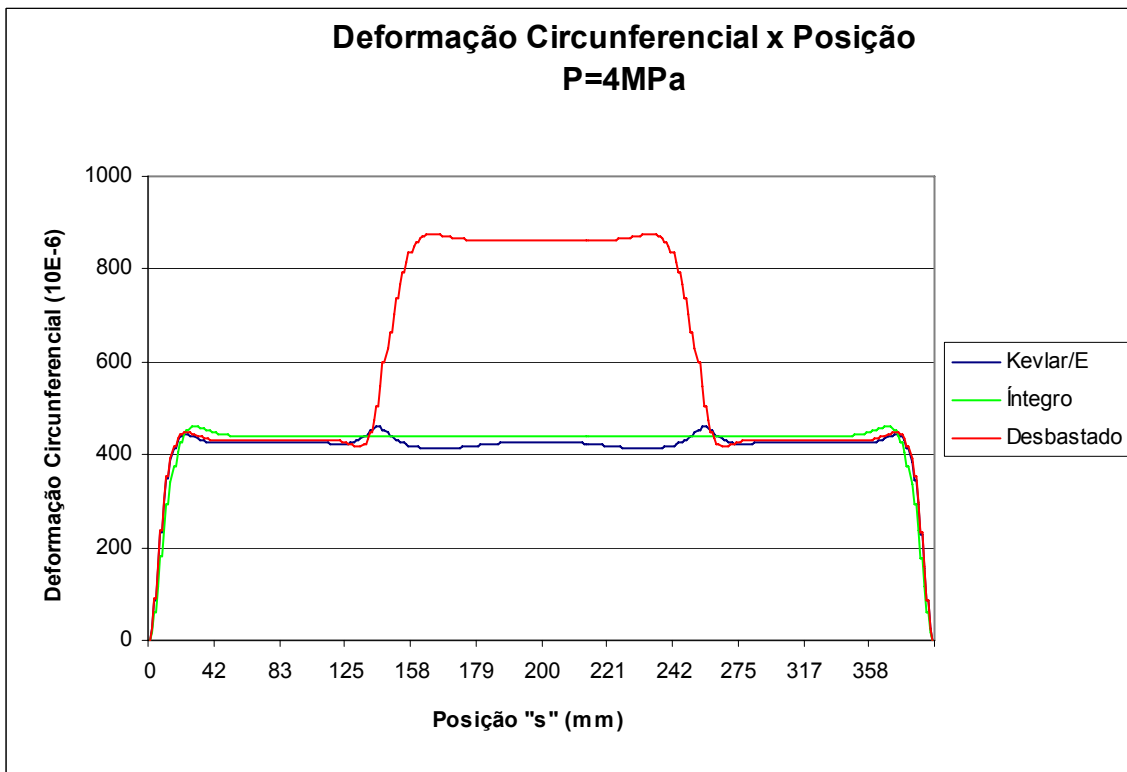


Gráfico 58 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=4 MPa

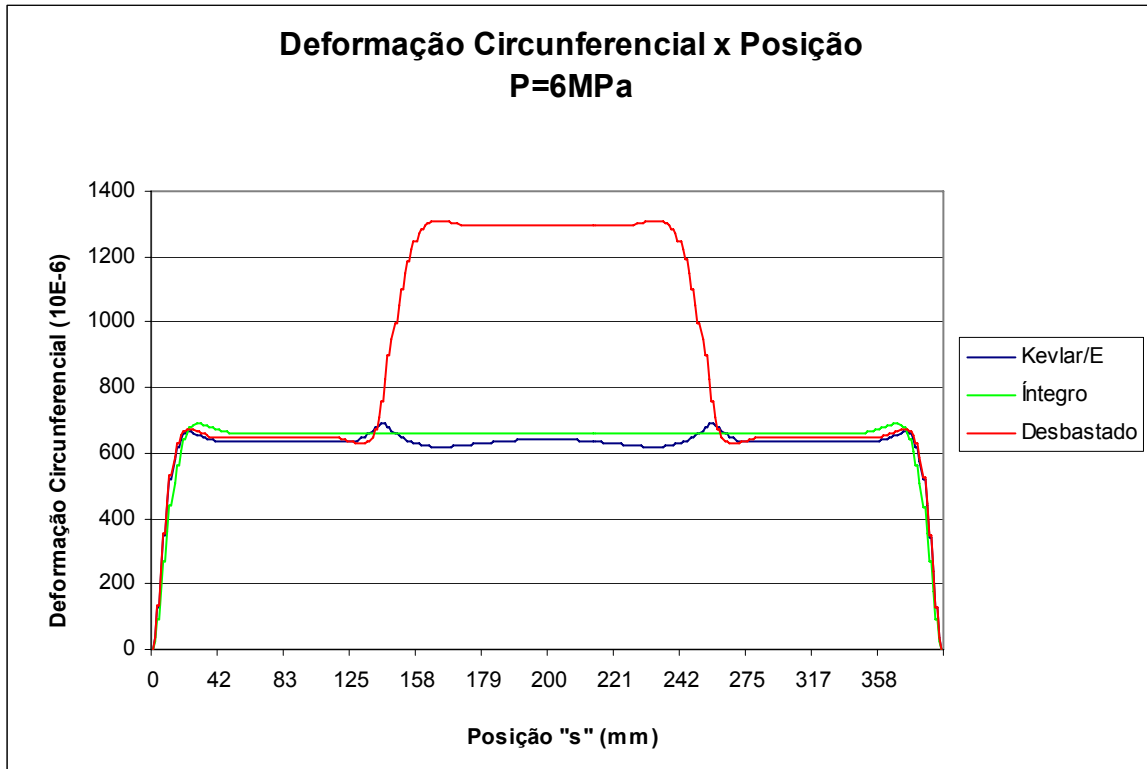


Gráfico 59 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=6 MPa

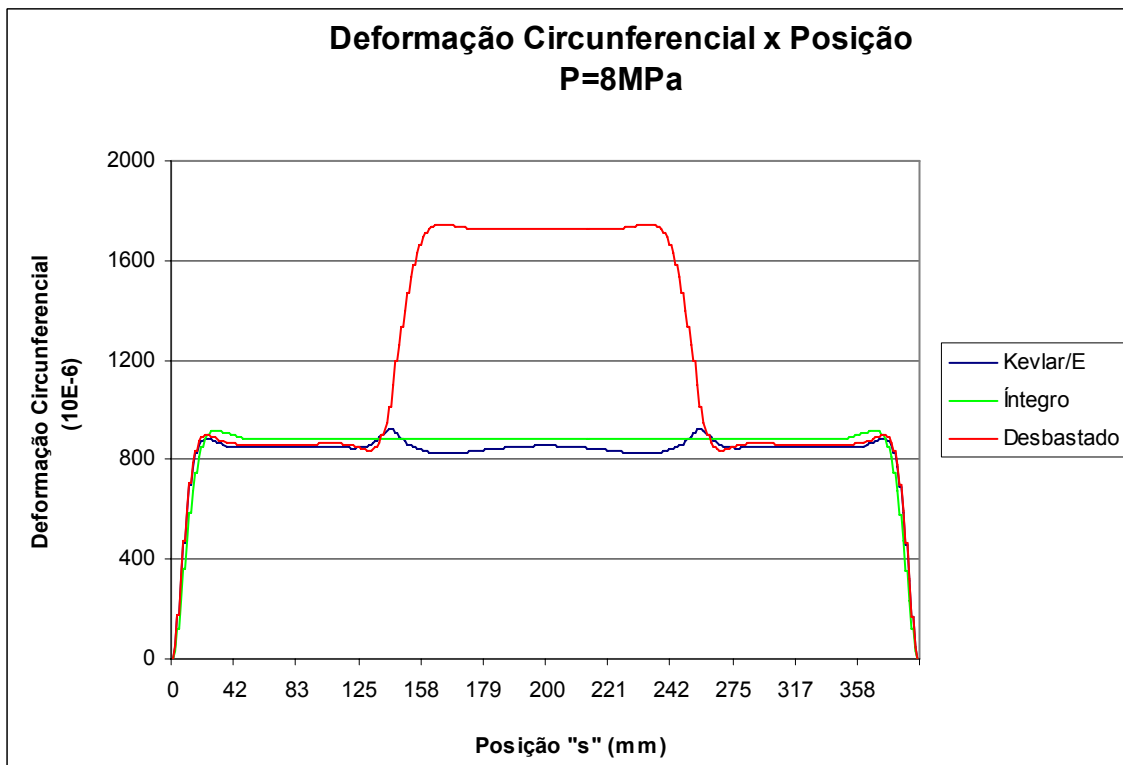


Gráfico 60 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=8 MPa

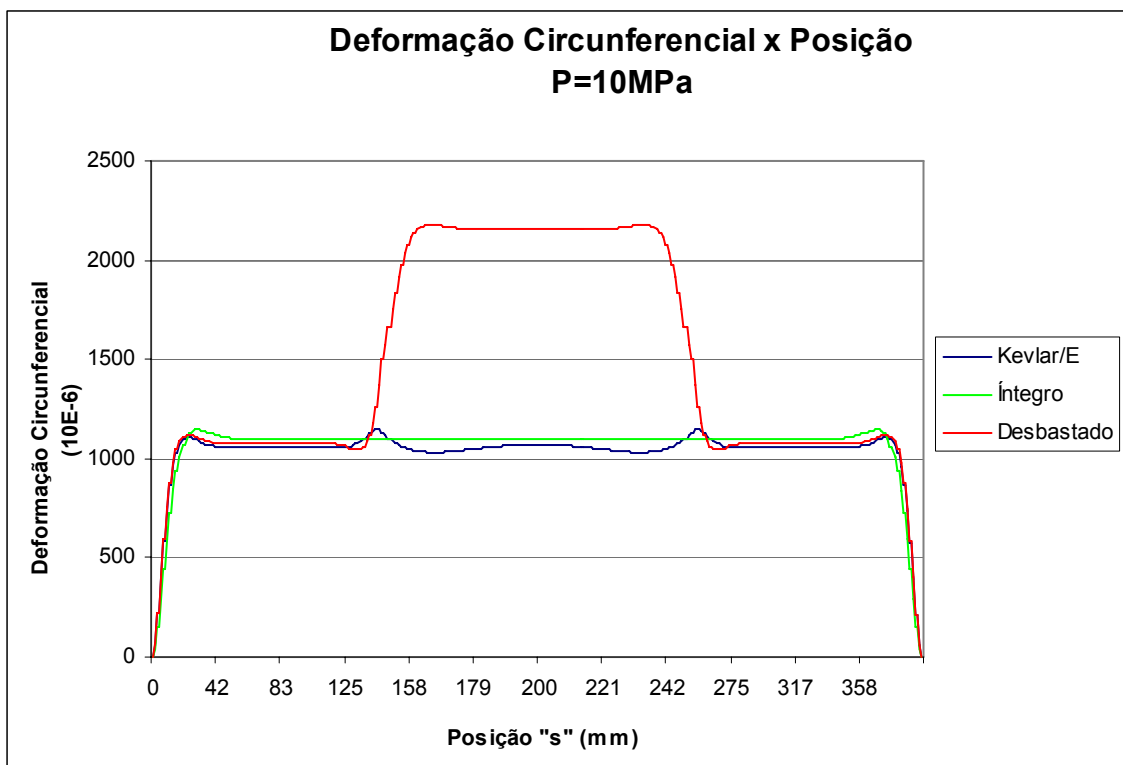


Gráfico 61 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=10 MPa



# TUBO REPARADO / KEVLAR/EPÓXI

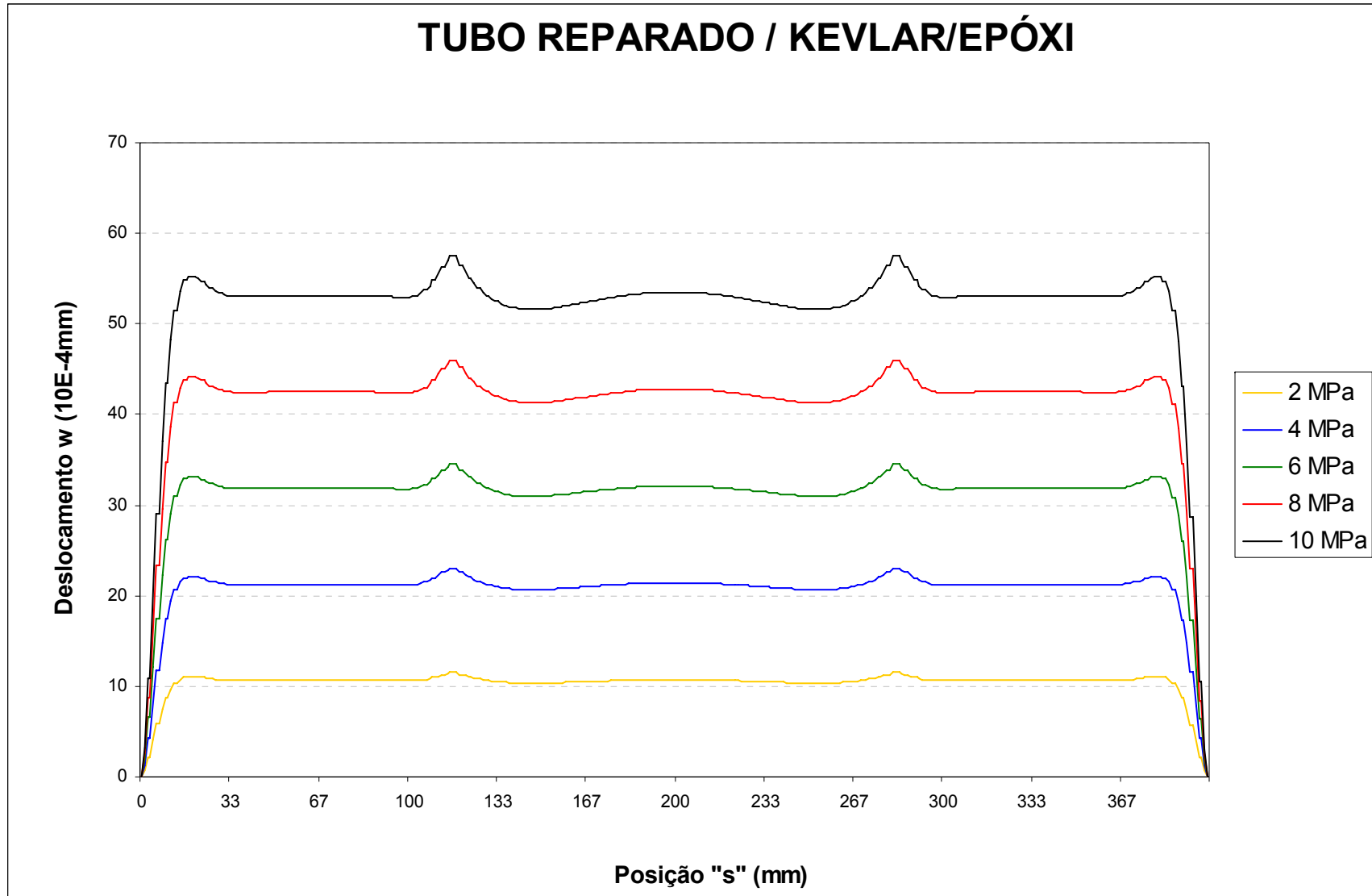


Gráfico 62 – Deslocamento radial X Posição “s” – Tubo Reparado Kevlar/Epóxi

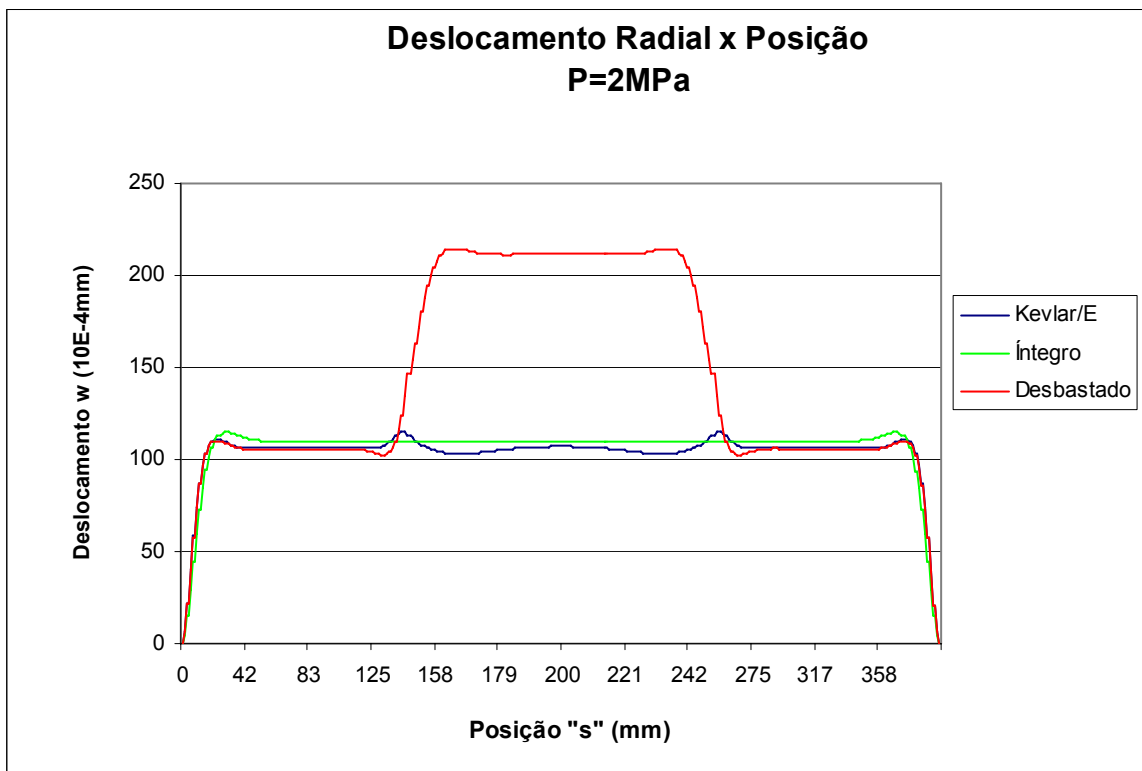


Gráfico 63 - Comparativo Deslocamento radial X Posição “s” – P=2 MPa

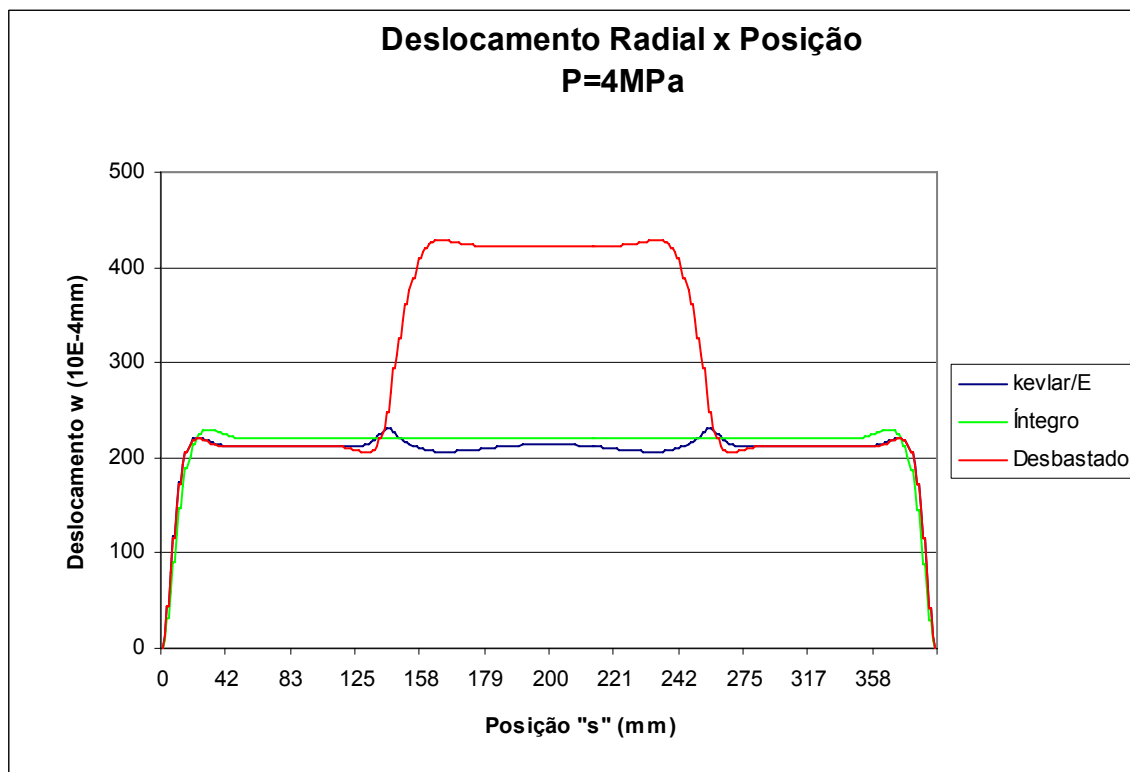


Gráfico 64 - Comparativo Deslocamento radial X Posição “s” – P=4 MPa

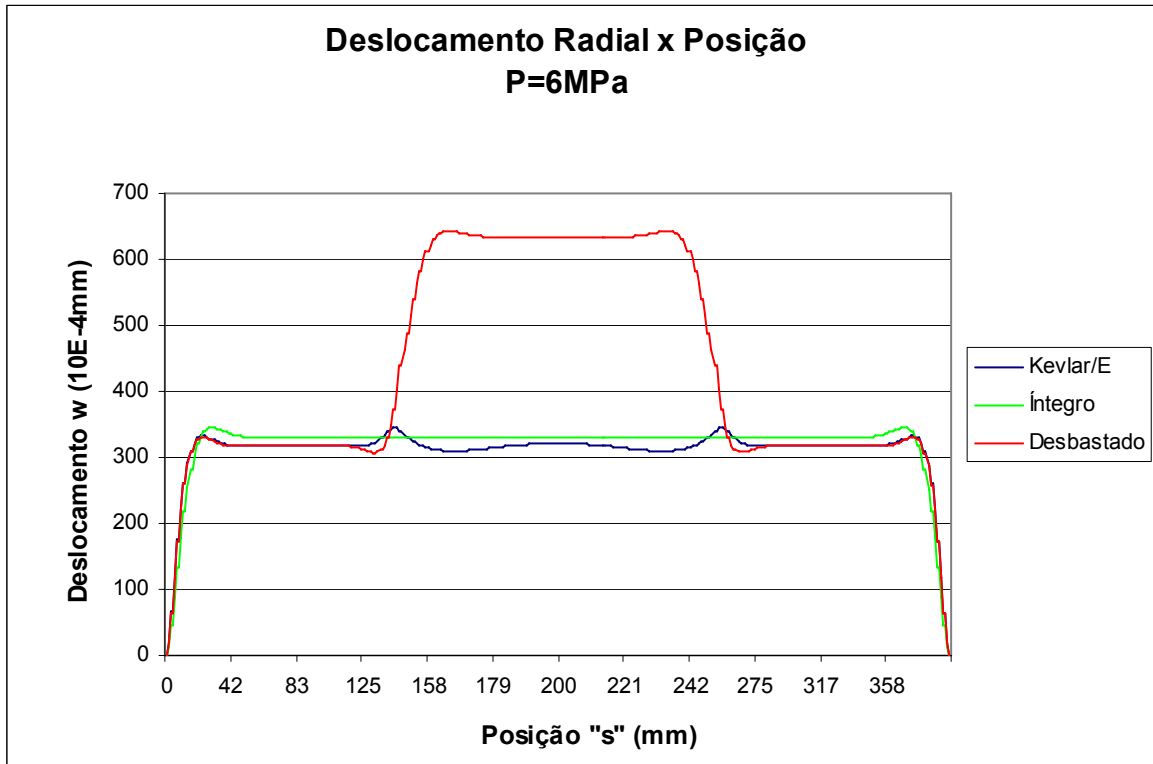


Gráfico 65 - Comparativo Deslocamento radial X Posição "s" – P=6 MPa

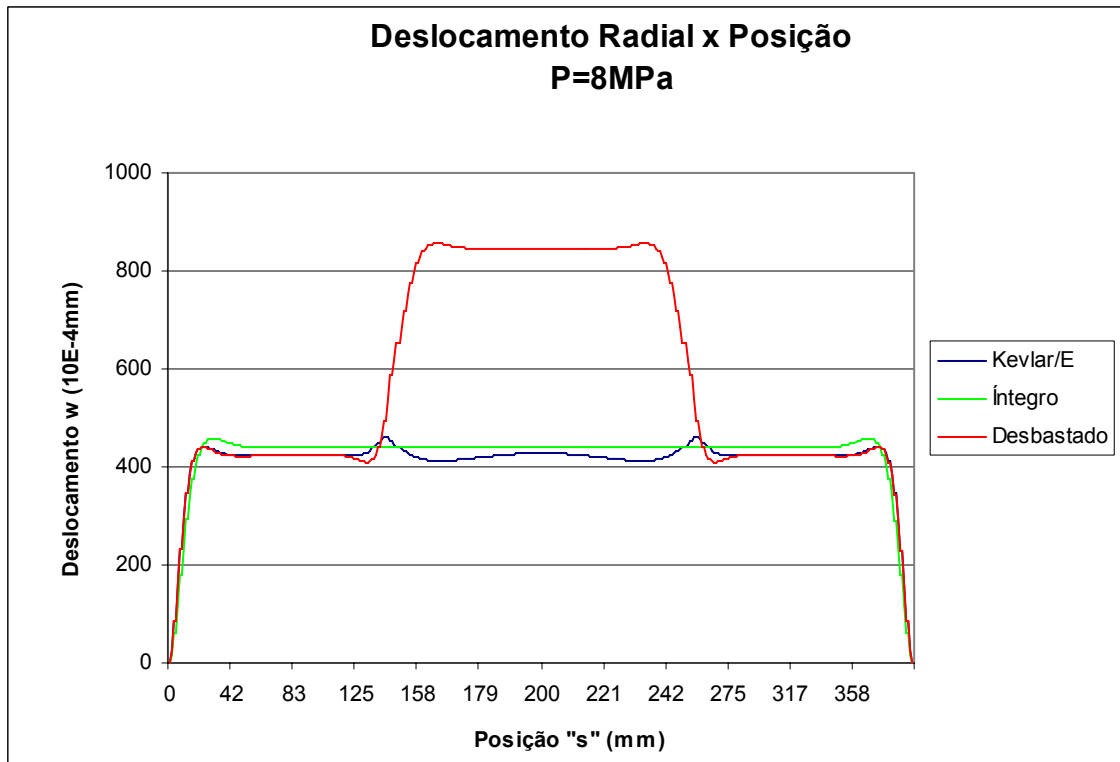


Gráfico 66 - Comparativo Deslocamento radial X Posição "s" – P=8 MPa

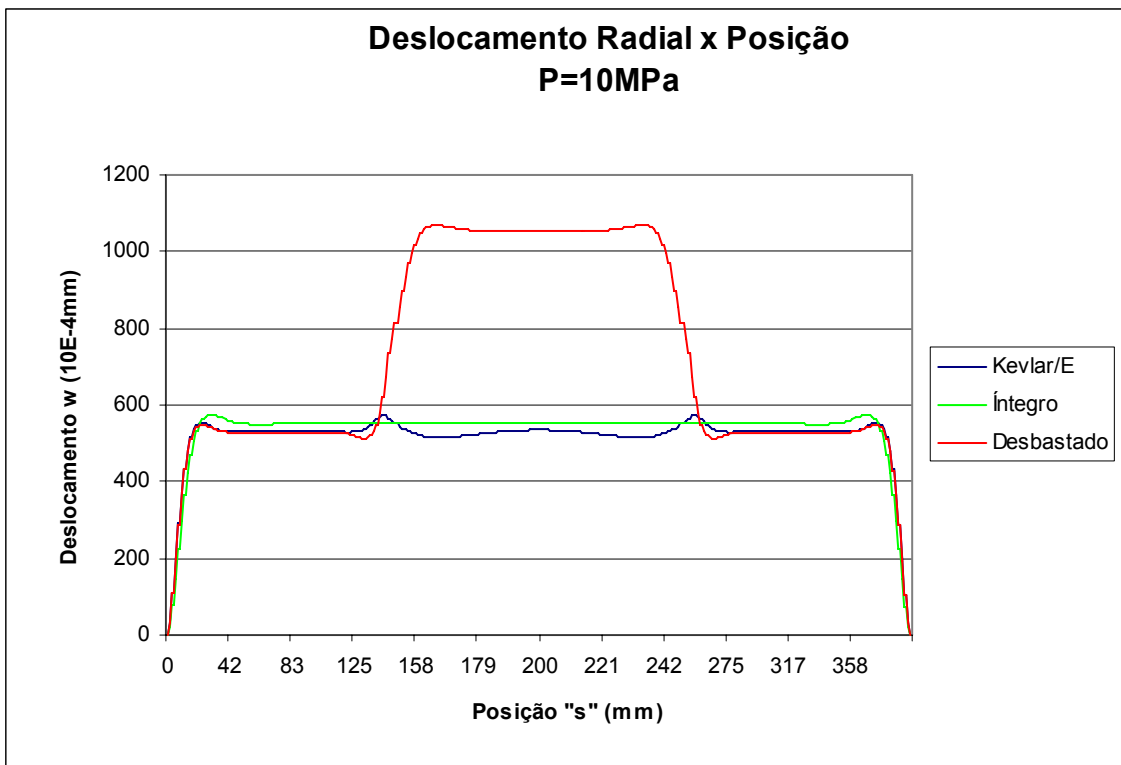


Gráfico 67 - Comparativo Deslocamento radial X Posição “s” – P=10 MPa

# TUBO REPARADO / KEVLAR/EPÓXI

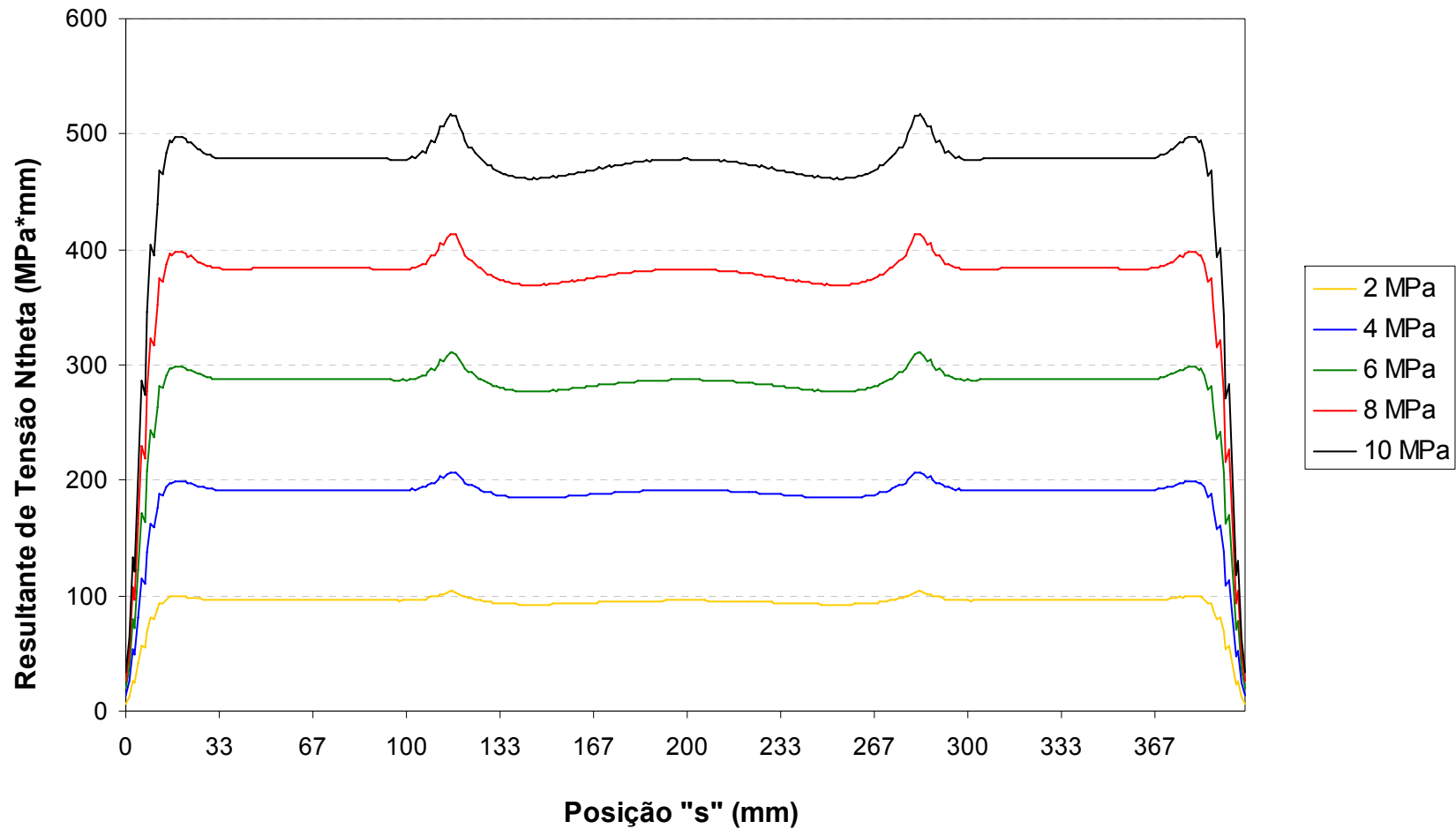


Gráfico 68 – Resultante de Tensão Circunferencial X Posição “s” – Tubo Reparado Kevlar/Epóxi

# TUBO REPARADO / KEVLAR/EPÓXI

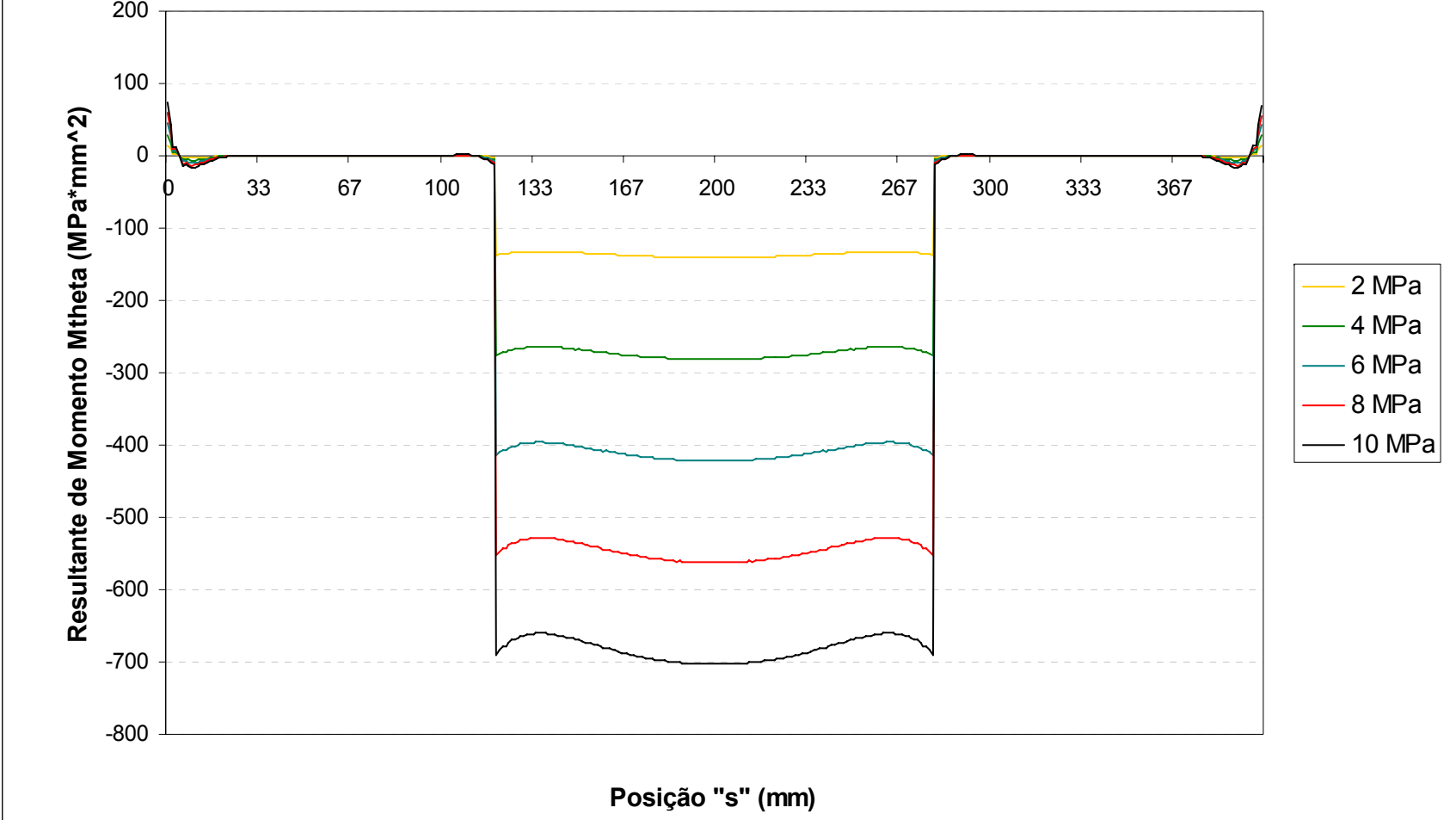


Gráfico 69 – Resultante de Momento Fletor Circunferencial X Posição “s” – Tubo Reparado Kevlar/Epóxi

### 4.3.3 Vidro / Epóxi

Os tubos de Aço AISI 1020 desbastados e reparados, conforme configuração detalhada na seção 3.2.3, foram submetidos a vários valores de pressão, apresentando assim diferentes deslocamentos radiais máximos ( $w_{m\acute{a}x}$ ) e conseqüentemente, diferentes deformações circunferenciais máximas ( $\epsilon_c$  máx).

Para todas as pressões, no caso dos tubos reparados com tecido de fibra de Vidro e resina epóxi, utilizou-se a espessura do reparo ( $t_{rep}$ ) de 8,43mm, conforme ilustrado na Figura 4.3.

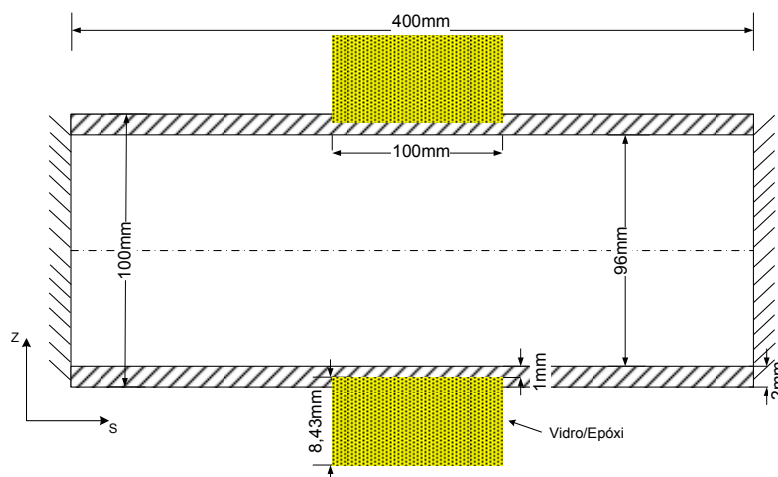


Figura 4.3 – Representação do tubo reparado – Vidro/Epóxi.

Esses valores estão listados na Tabela 4.9 e Tabela 4.10 respectivamente.

Tabela 4.9 – Deslocamento máximo  $w_{m\acute{a}x}$  – valores em mm.

Pressão (MPa)	Íntegro $w_{m\acute{a}x}$ (mm)	Desbastado $w_{m\acute{a}x}$ (mm)	Reparado $w_{m\acute{a}x}$ (mm)	Reparado / Íntegro %
2,0	1,103 E-2	2,12 E-2	1,07 E-2	97,10
4,0	2,205 E-2	4,23 E-2	2,13 E-2	96,60
6,0	3,307 E-2	6,34 E-2	3,20 E-2	96,76
8,0	4,408 E-2	8,45 E-2	4,26 E-2	96,64
10,0	5,509 E-2	1,05 E-1	5,33 E-2	96,75

Tabela 4.10 – Deformações circunferenciais máximas.

<b>Pressão (MPa)</b>	<b>Íntegro <math>\epsilon_c</math> máx</b>	<b>Desbastado <math>\epsilon_c</math> máx</b>	<b>Reparado <math>\epsilon_c</math> máx</b>	<b>Reparado / Íntegro %</b>
<b>2,0</b>	2,206 E-4	4,33 E-4	2,132 E-4	96,65
<b>4,0</b>	4,410 E-4	8,63 E-4	4,264 E-4	96,70
<b>6,0</b>	6,614 E-4	1,29 E-3	6,394 E-4	96,67
<b>8,0</b>	8,816 E-4	1,72 E-3	8,524 E-4	96,69
<b>10,0</b>	11,018 E-4	2,14 E-3	10,652 E-4	96,68

A matriz de acoplamento [B] para o reparo Vidro/Epóxi é dada por:

$$[B]_{V/E} = \begin{bmatrix} -817,29 & -249,82 & 0 \\ -249,82 & -817,29 & 0 \\ 0 & 0 & -320,42 \end{bmatrix} [N]$$

Com os dados de deslocamento máximo ( $w_{máx}$ ) e deformação circunferencial máxima ( $\epsilon_c$  máx) da Tabela 4.9 e Tabela 4.10, geraram-se os gráficos 70 a 83 que se seguem:



## TUBO REPARADO / VIDRO/EPÓXI

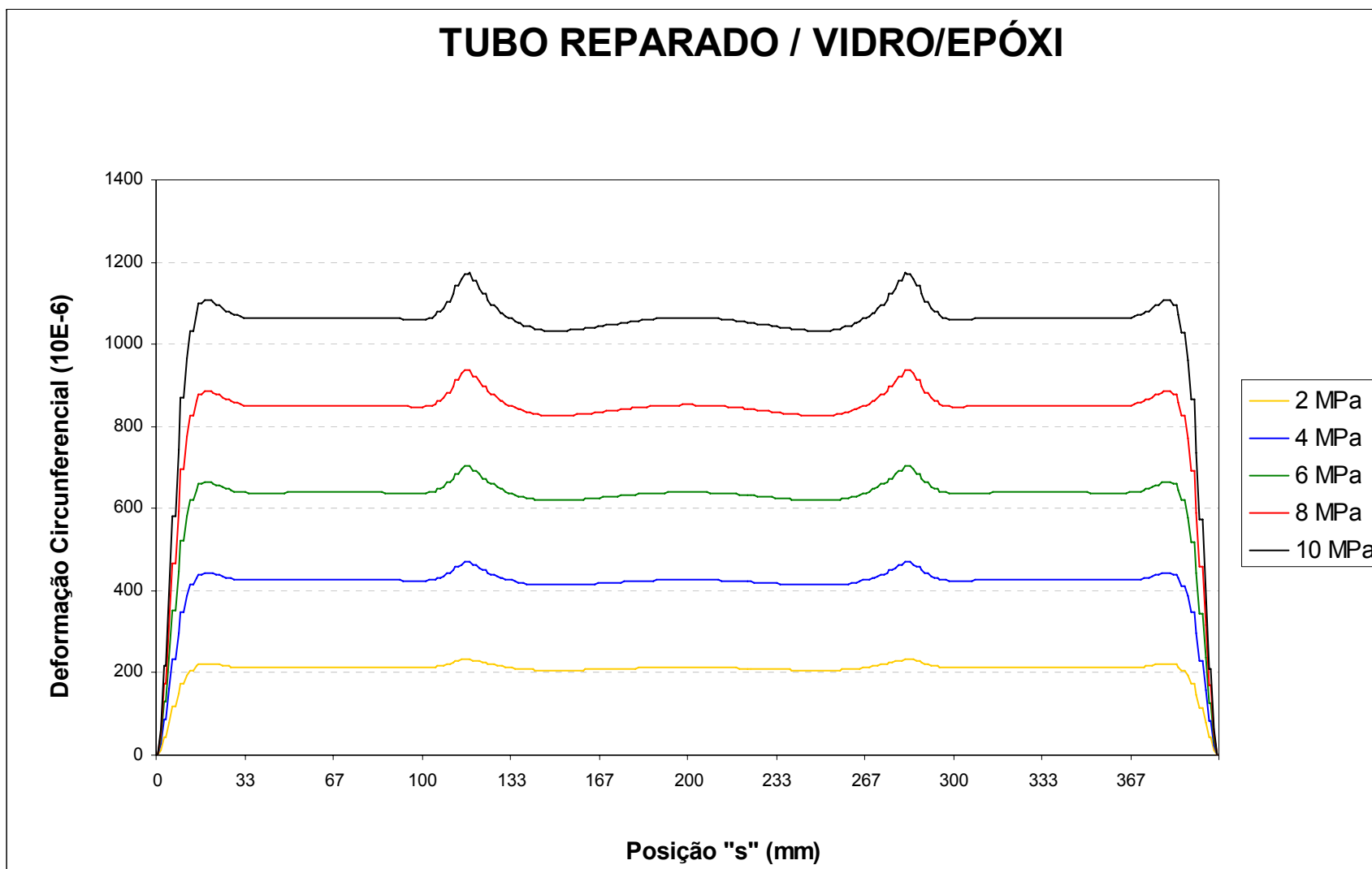


Gráfico 70 – Deformação circunferencial X Posição “s” – Tubo Reparado Vidro/Epóxi

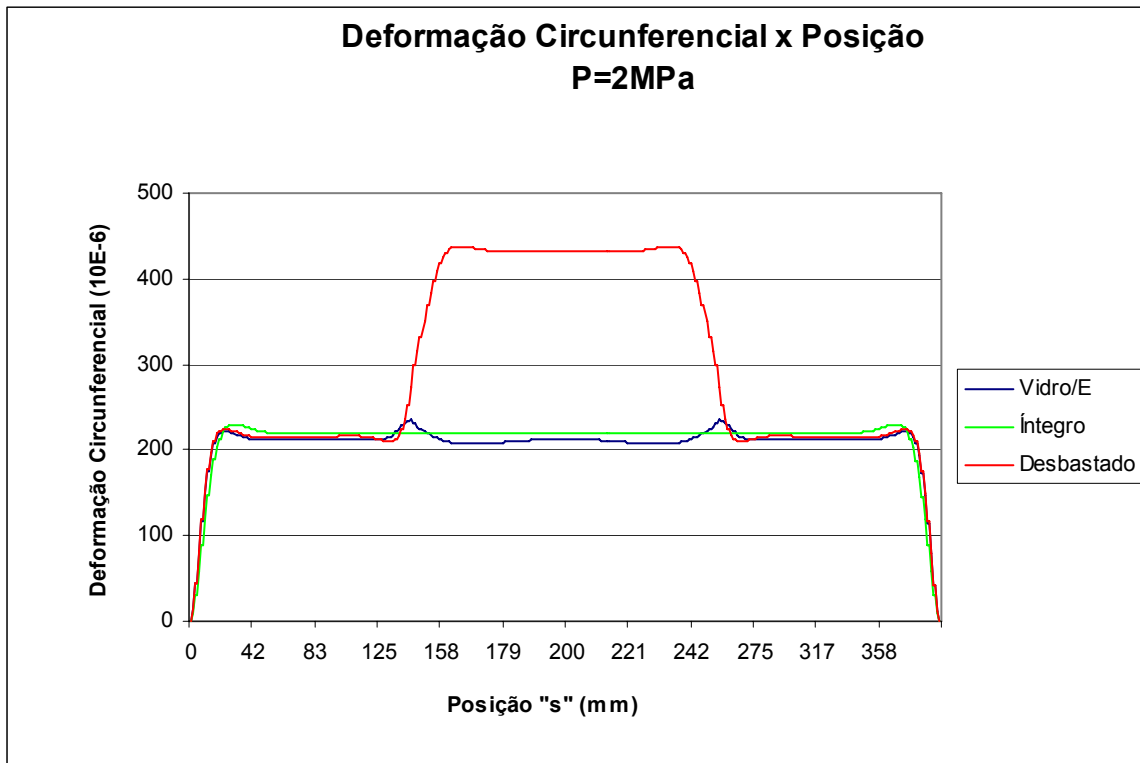


Gráfico 71 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=2 MPa

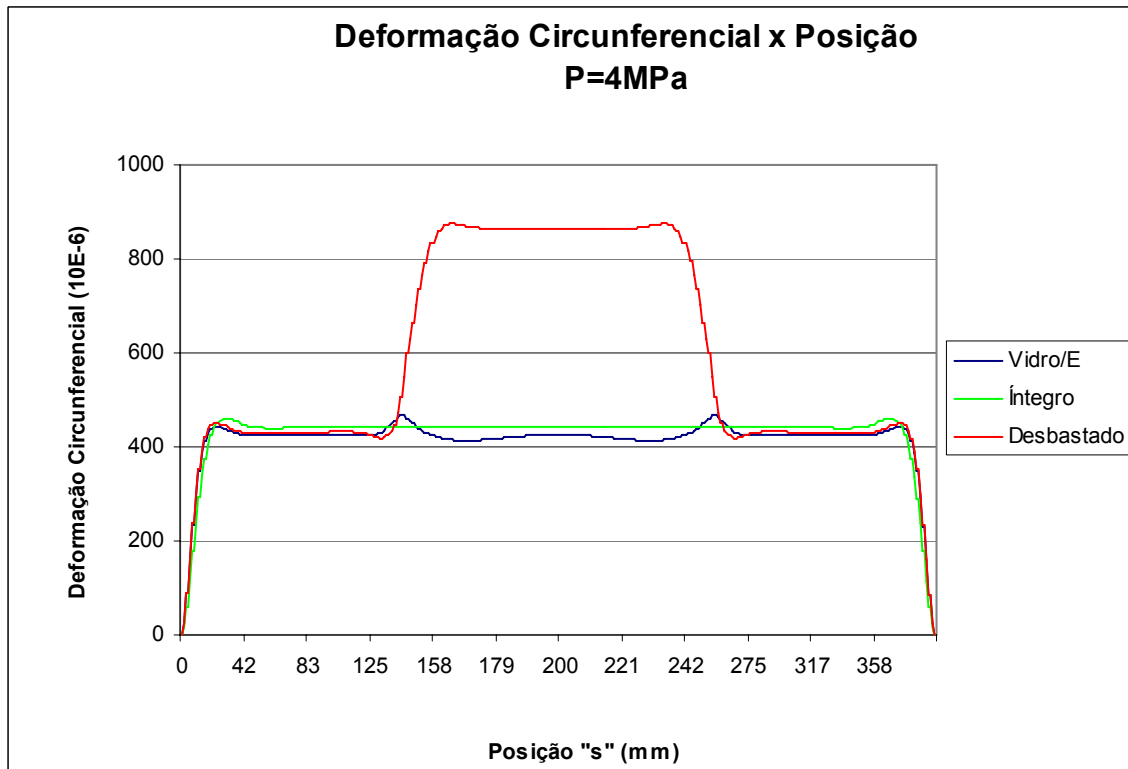


Gráfico 72 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=4 MPa

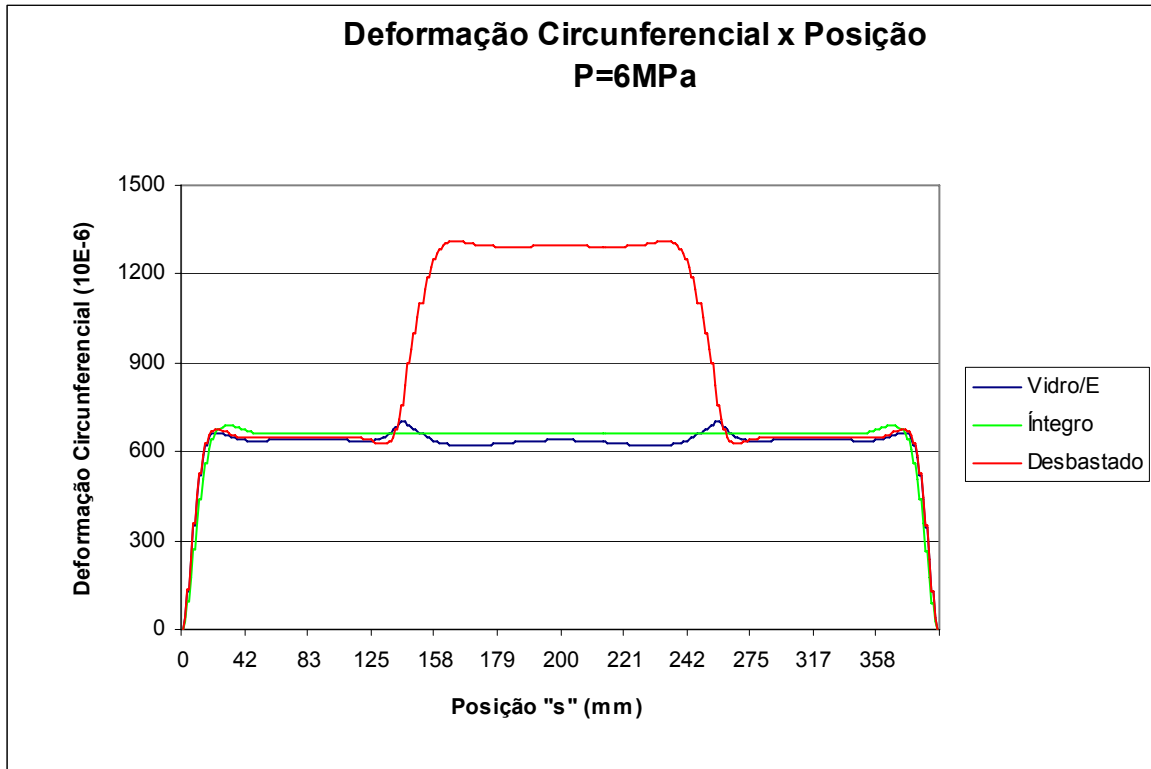


Gráfico 73 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=6 MPa

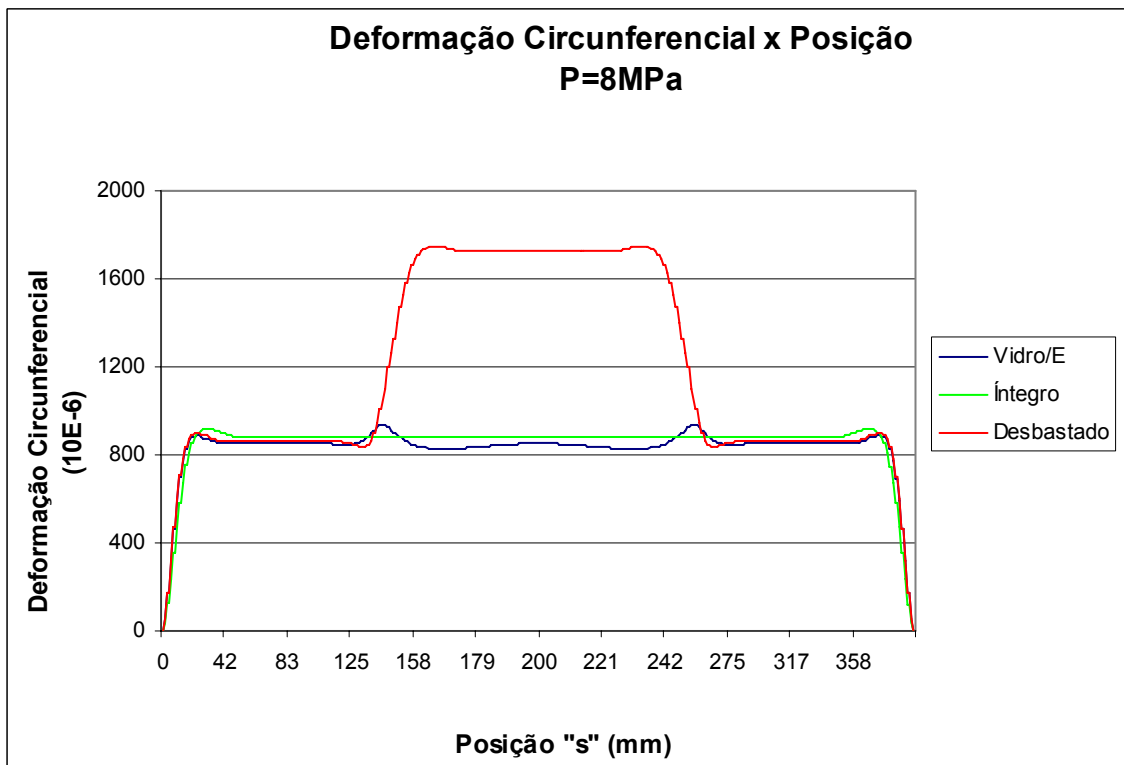


Gráfico 74 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=8 MPa

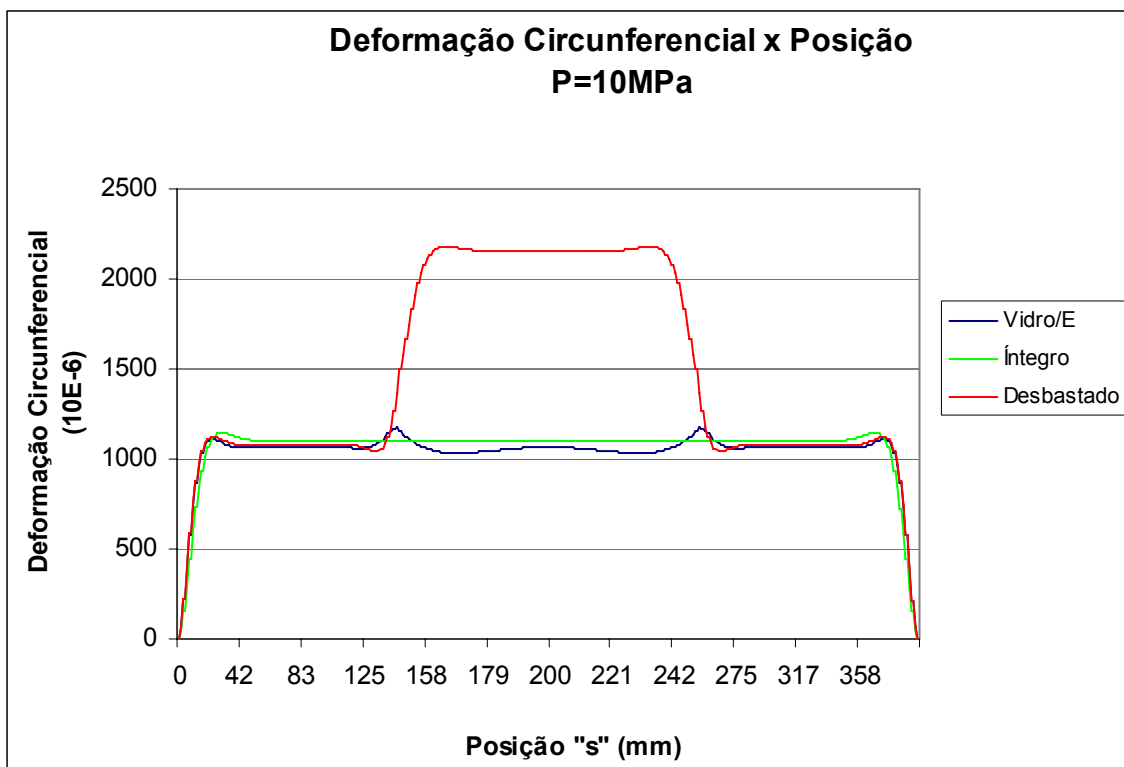


Gráfico 75 – Comparativo Deformação circunferencial X Posição “s” – P=10 MPa

# TUBO REPARADO / VIDRO/EPÓXI

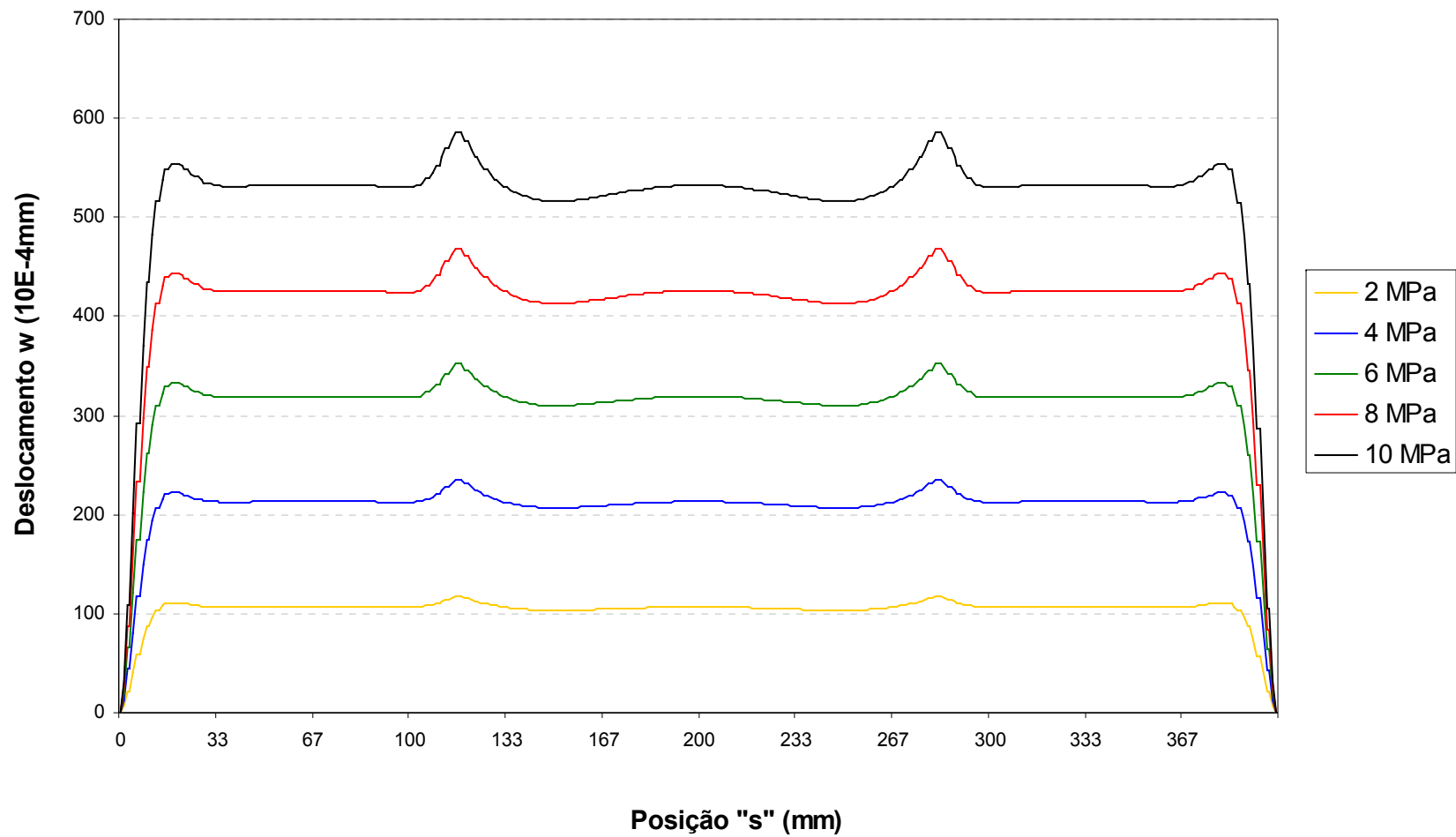


Gráfico 76 – Deslocamento radial X Posição "s" – Tubo Reparado Vidro/Epóxi

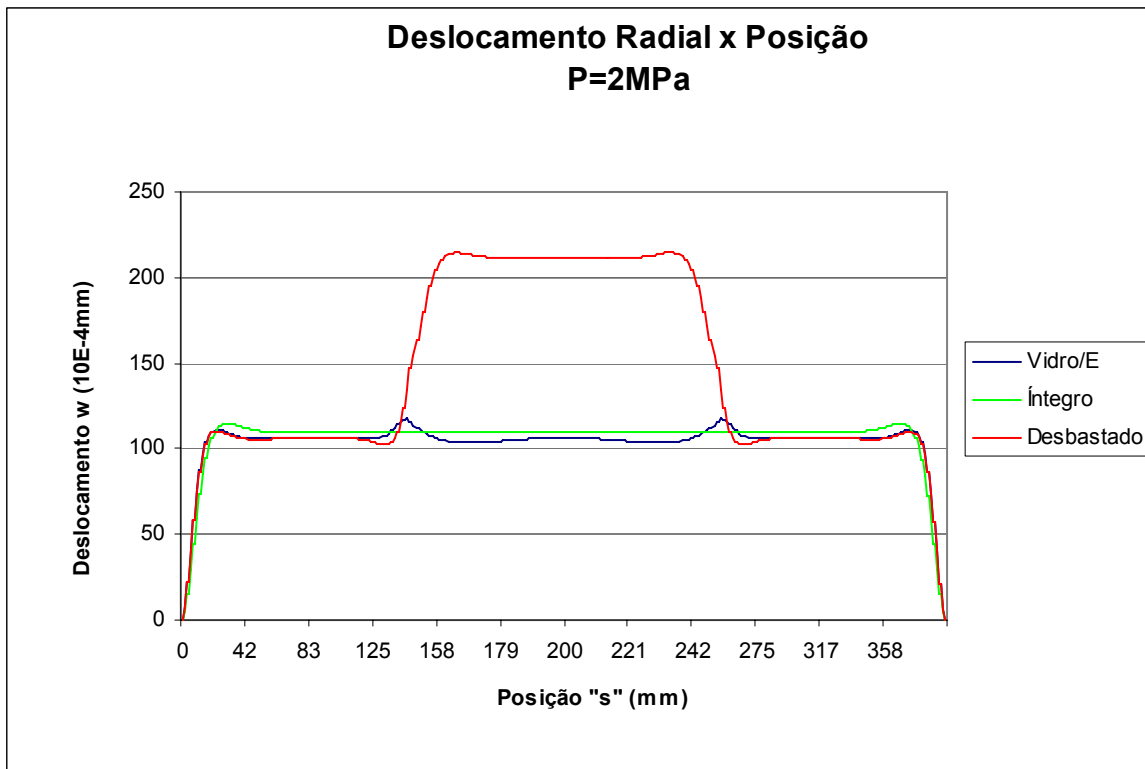


Gráfico 77 - Comparativo Deslocamento radial X Posição "s" – P=2 MPa

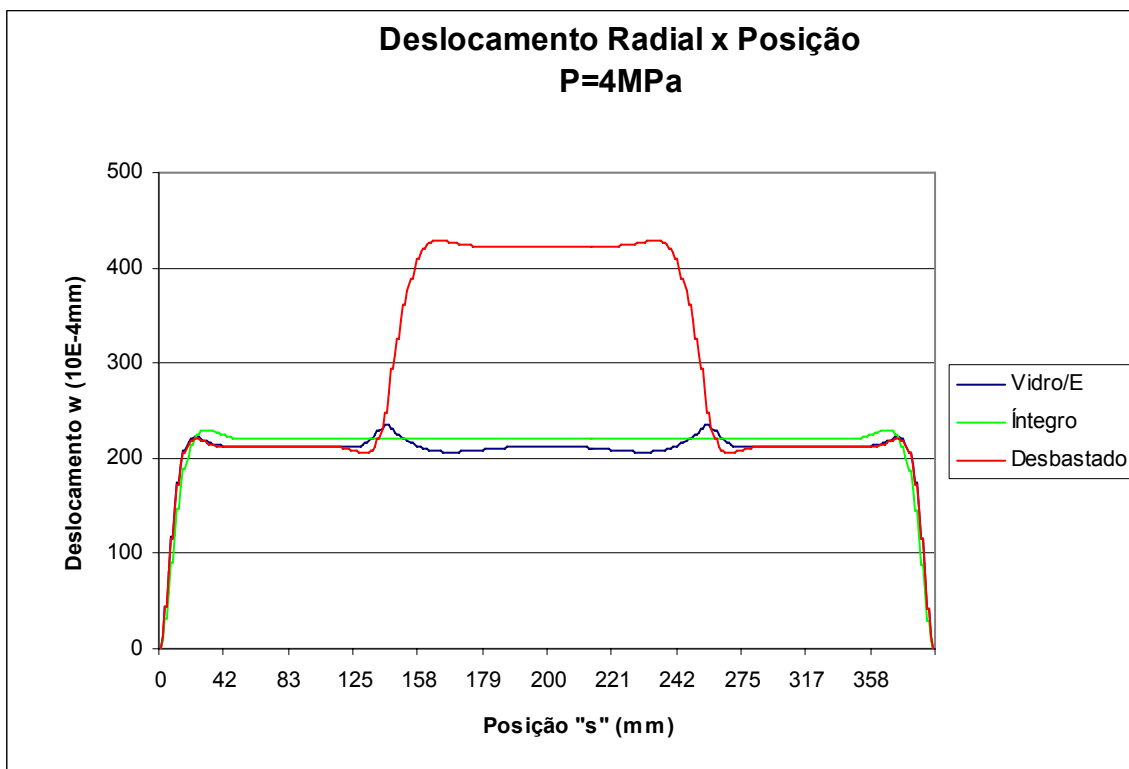


Gráfico 78 - Comparativo Deslocamento radial X Posição "s" – P=4 MPa

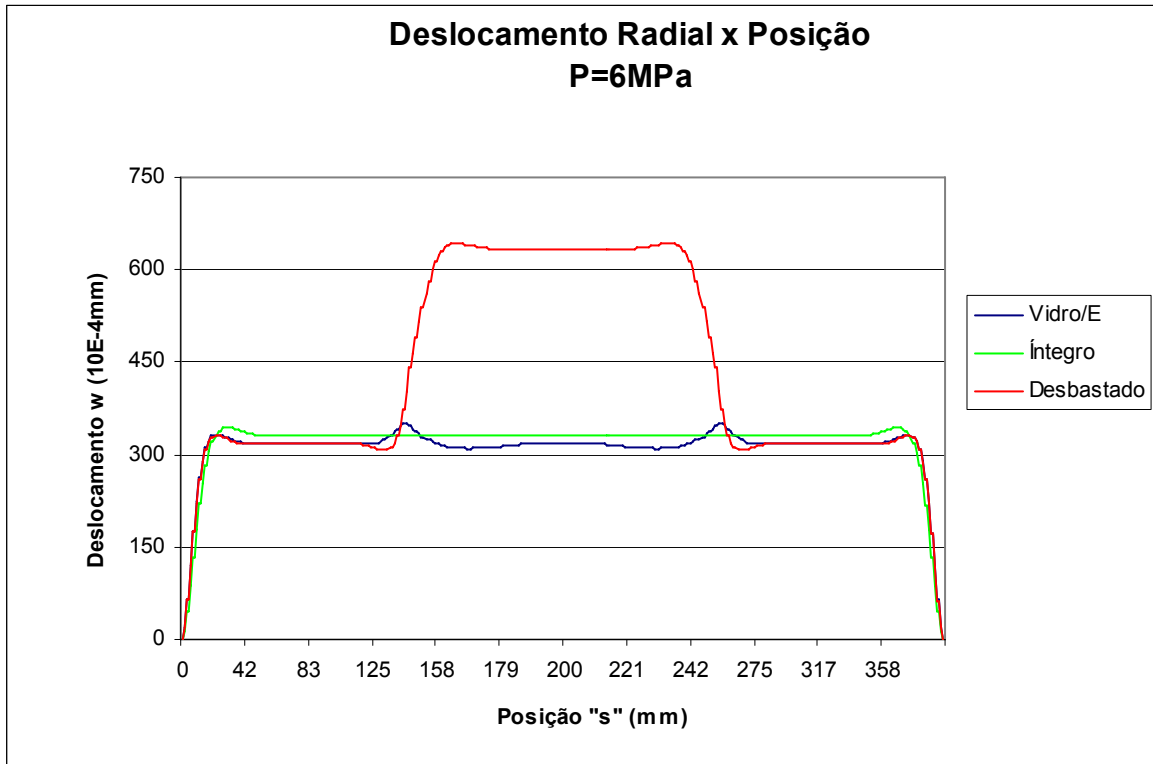


Gráfico 79 - Comparativo Deslocamento radial X Posição “s” – P=6 MPa

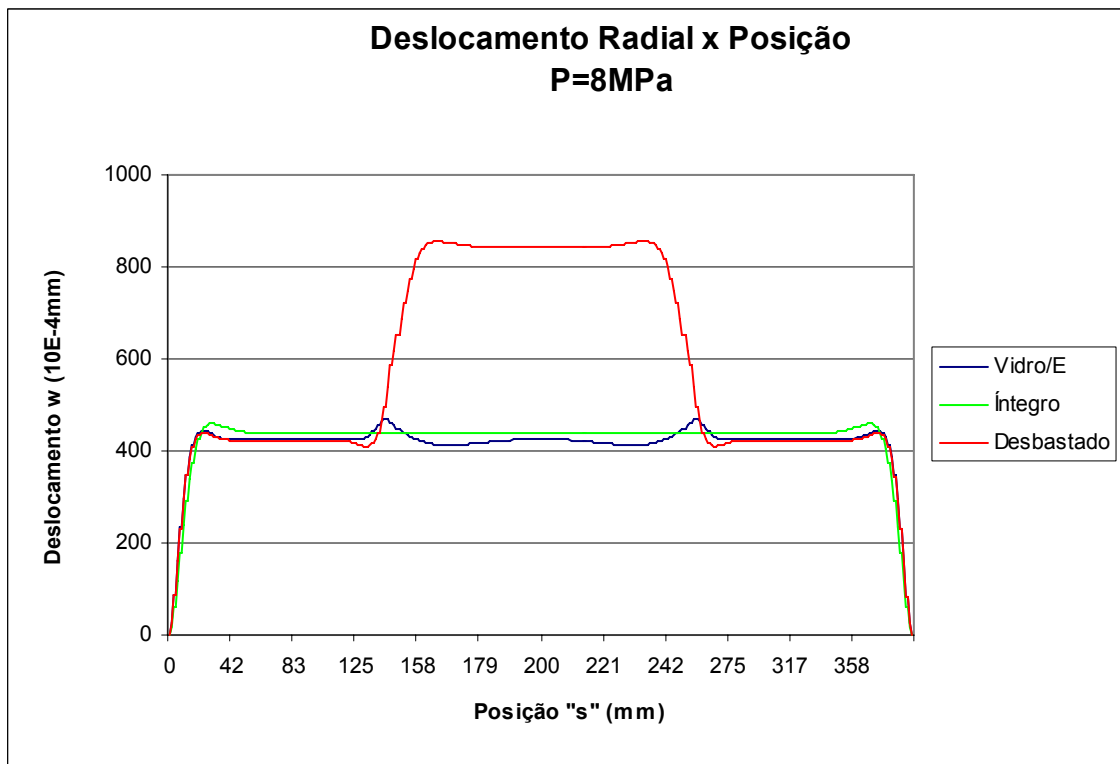


Gráfico 80 - Comparativo Deslocamento radial X Posição “s” – P=8 MPa

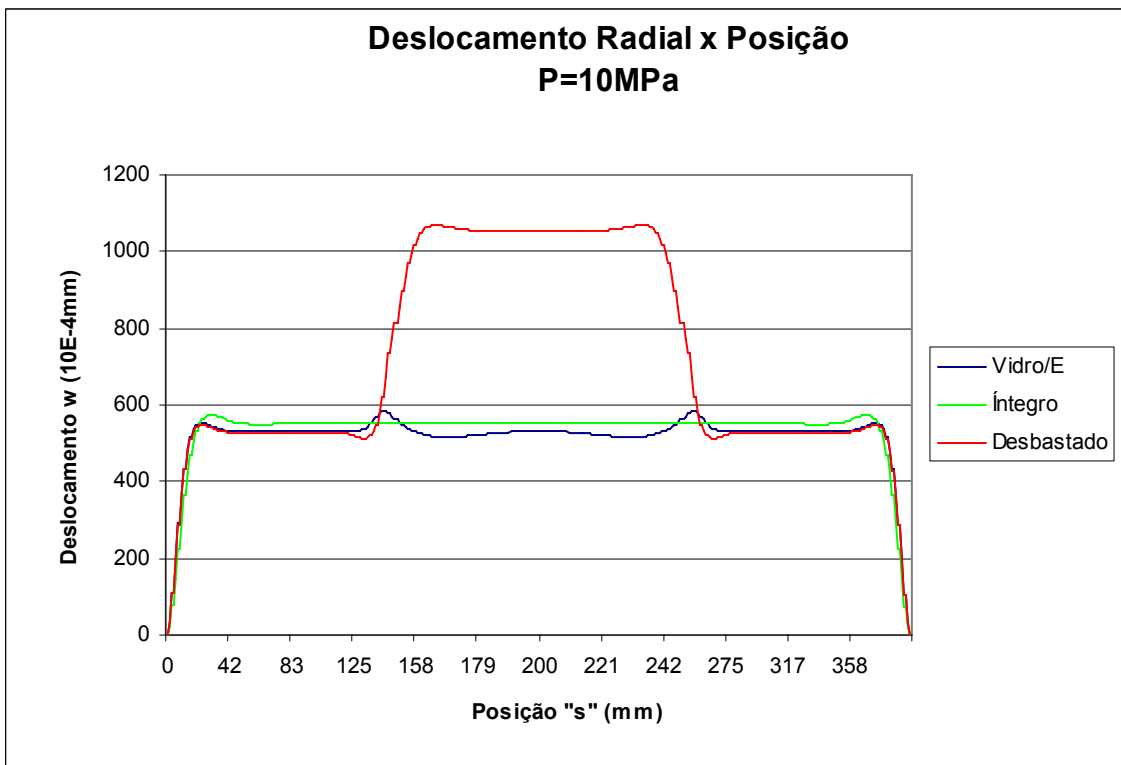


Gráfico 81 - Comparativo Deslocamento radial X Posição “s” – P=10 MPa



# TUBO REPARADO / VIDRO/EPÓXI

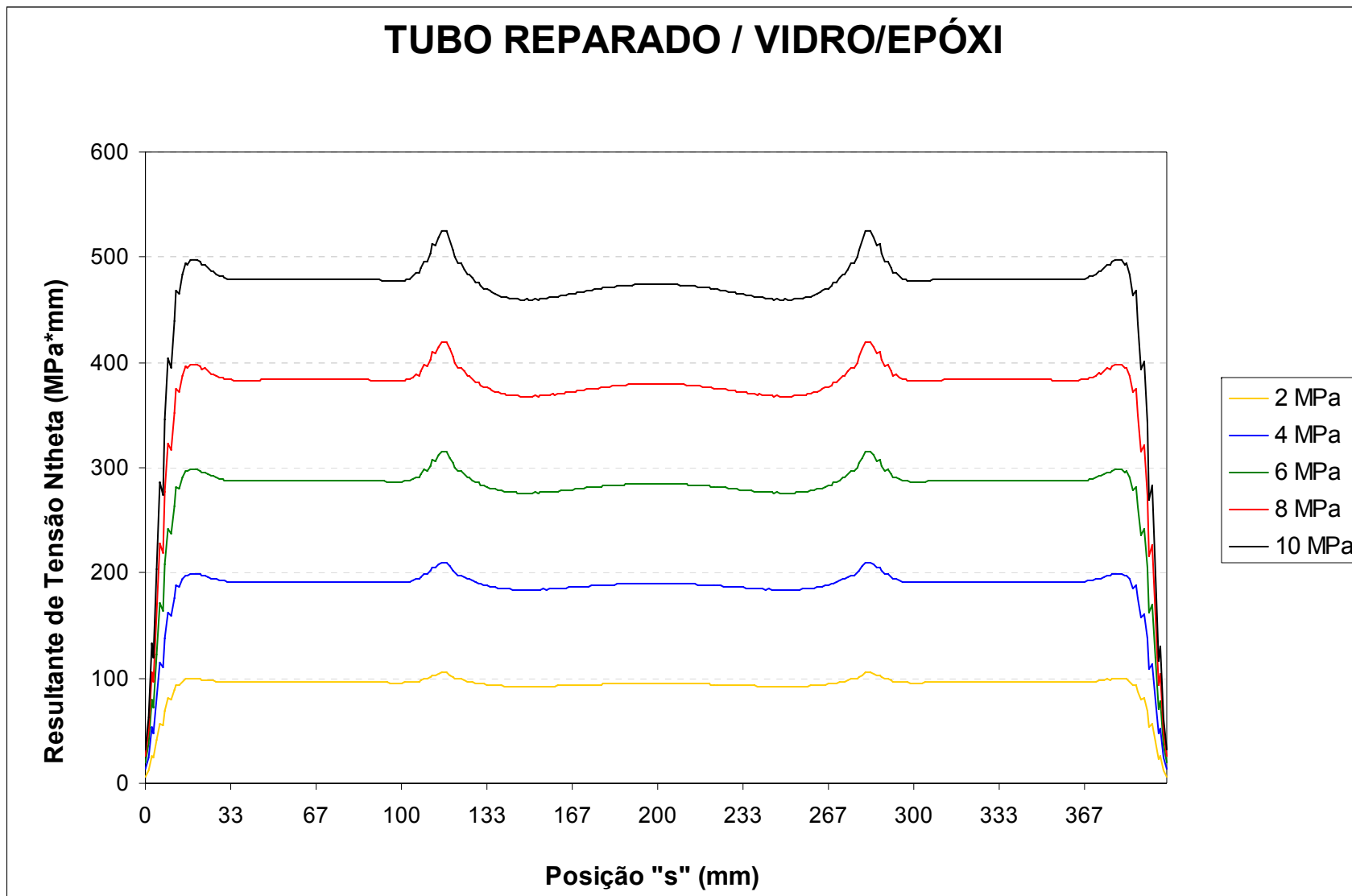


Gráfico 82 – Resultante de Tensão Circunferencial X Posição “s” – Tubo Reparado Vidro/Epóxi

## TUBO REPARADO / VIDRO/EPÓXI

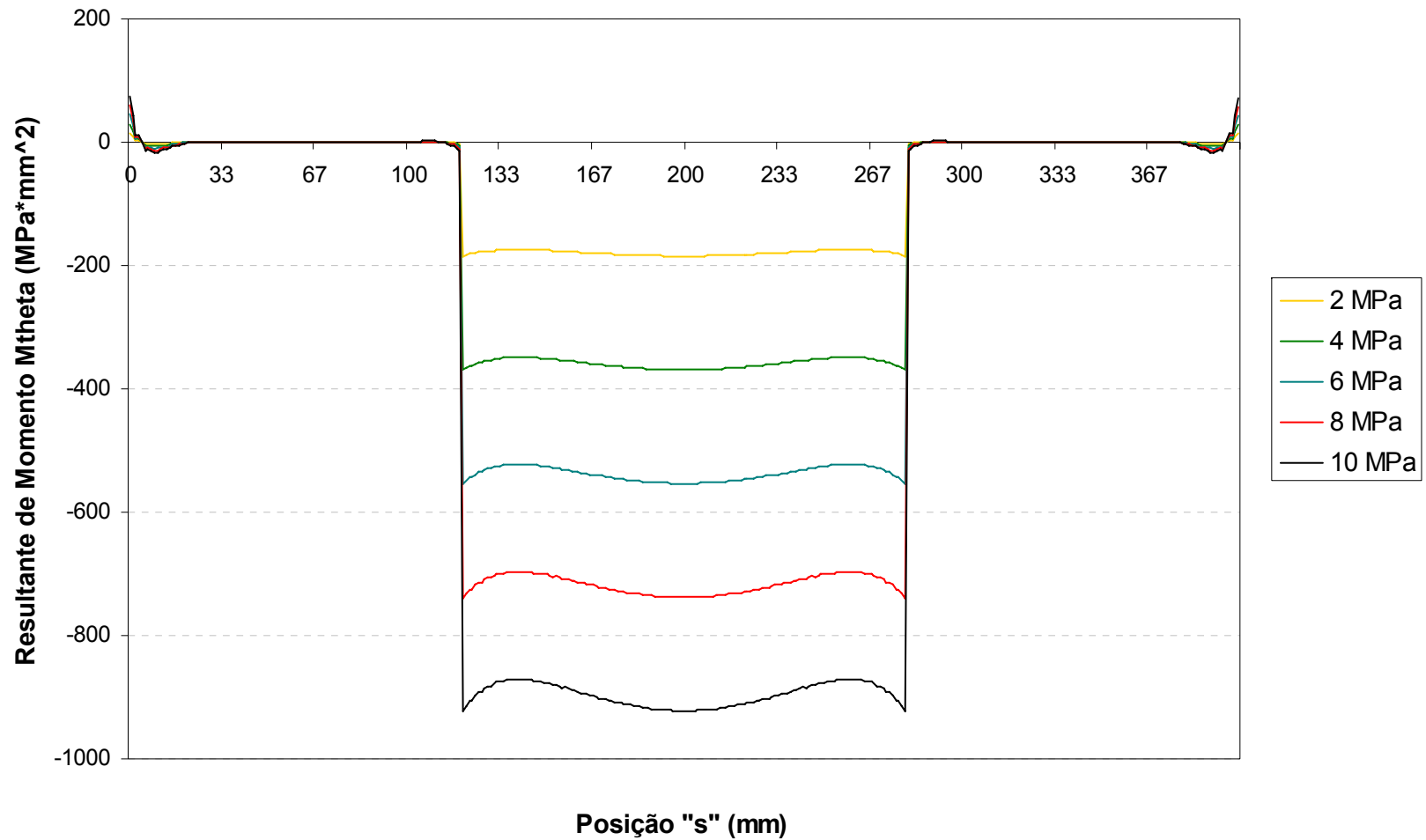


Gráfico 83 – Resultante de Momento Fletor Circunferencial X Posição “s” – Tubo Reparado Vidro/Epóxi

#### 4.4 Análise Econômica

De posse dos dados da Tabela 3.25 e da Tabela 3.26, é possível obter o custo total da matéria prima para cada um dos reparos empregados na recuperação da rigidez do tubo desbastado de Aço AISI 1020, listado então na Tabela 4.11

Tabela 4.11 – Custo total por compósito.

Compósito	R\$	$e_{\text{reparo}}$ (mm)	$\rho$ (g/mm <sup>3</sup> )	E (GPa)
Carbono / Epóxi	28,14	3,05	0,0016	65,518
Kevlar / Epóxi	32,20	6,67	0,00140	30
Vidro / Epóxi	8,88	8,43	0,0018	23,738

Com base nos dados listados na Tabela 4.11, pode-se observar que o compósito com menor custo para restabelecer a rigidez do duto em questão é o Vidro/Epóxi, chegando a apresentar 68% de economia em relação ao Carbono/Epóxi e 72% em relação ao Kevlar/Epóxi.

Outra análise interessante de custos é a relação R\$/espessura que equaliza as propostas dos três compósitos, já que estes apresentam espessuras diferentes para oferecer o mesmo resultado, conforme ilustrado na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Relações Custo/espessura e Custo x espessura.

Compósito	R\$	$e_{\text{reparo}}$ (mm)	R\$/ $e_{\text{reparo}}$	R\$ x $e_{\text{reparo}}$
Carbono / Epóxi	28,14	3,05	9,22	85,83
Kevlar / Epóxi	32,20	6,67	4,83	214,77
Vidro / Epóxi	8,88	8,43	1,05	74,86

Analisando os dados da Tabela 4.12, observamos que o compósito Kevlar / Epóxi que inicialmente apresentava o maior custo, demonstrou uma relação de custo/espessura 48% menor que o Carbono / Epóxi, que inicialmente se apresentou uma solução mais atraente.

O índice “R\$\*  $e_{\text{reparo}}$ ” representa o produto de duas variáveis que se deseja que sejam quanto menor possível, sendo assim, a melhor opção é aquela que apresentar menor valor desse produto.

De qualquer forma, sob uma visão apenas econômica, o Vidro/Epóxi continua sendo a solução mais viável, apresentando o menor custo por milímetro de reparo e o menor produto Custo x espessura, seguido de perto pelo Carbono/Epóxi.

Entretanto essa avaliação apenas de custo é extremamente superficial, uma vez que não leva em consideração o aumento na massa do duto e ultrapassagem considerável na espessura deste.

Por esse motivo é importante avaliarmos mais algumas relações para estabelecermos uma posição mais conclusiva.

Tabela 4.13 – Relação E/custo.

Compósito	R\$	E (GPa)	E/R\$ (x10E3)
Carbono / Epóxi	28,14	65,518	2,33
Kevlar / Epóxi	32,20	30	0,93
Vidro / Epóxi	8,88	23,738	2,67

## 4.5 Acréscimo de Massa

Admitindo que o tubo íntegro (Aço AISI 1020) possua as dimensões listadas na Tabela 3.1 e considerando sua densidade de  $\rho_{\text{aço}} = 0,00787 \text{ g/mm}^3$ , aplica-se a equação (51) para obter a massa do tubo íntegro.

$$V_{\text{tubo}} = 2\pi \frac{D_{\text{Externo}}}{2} L \cdot e_{\text{Total}} \quad (51)$$

$$V_{\text{tubo}} = 2\pi \frac{100}{2} 400 \cdot 2 \quad \Rightarrow \quad V_{\text{tubo}} = 251.327 \text{ mm}^3$$

Aplicando a relação entre volume e densidade, temos:

$$\rho = \frac{m_{\text{tubo}}}{V_{\text{tubo}}} \quad \Rightarrow \quad m_{\text{tubo}} = 1977,95 \text{ g} \quad \Rightarrow \quad m_{\text{tubo}} \approx 2 \text{ kg}$$

Para o tubo desbastado, deve-se considerar o volume de material retirado:

$$V_{\text{desbaste}} = 2\pi \frac{100}{2} 100 \cdot 1 \quad \Rightarrow \quad V_{\text{desbaste}} = 31.415,83 \text{ mm}^3$$

Assim, pode-se obter a massa do tubo desbastado:

$$\rho = \frac{m_{\text{desbastado}}}{V_{\text{tubo}} - V_{\text{desbaste}}} \quad \Rightarrow \quad m_{\text{desbastado}} = 1730,70 \text{ g} \quad \Rightarrow \quad m_{\text{tubo}} \approx 1,7 \text{ kg}$$

A Tabela 4.14 lista as massas dos tubos íntegro, desbastado e reparado, além de apresentar o aumento/diminuição percentual de massa do tubo reparado em relação ao tubo íntegro.

Tabela 4.14 – Massa dos tubos.

	<b>m<sub>reparo</sub></b> <b>(g)</b>	<b>m<sub>tubo</sub></b> <b>(g)</b>	<b>m<sub>desbastado</sub></b> <b>(g)</b>	<b>m<sub>reparado</sub></b> <b>(g)</b>	<b>m<sub>reparado</sub>/m<sub>tubo</sub></b> <b>(%)</b>
<b>Carbono / Epóxi</b>	153,51	1977,95	1730,70	1884,21	-0,5
<b>Kevlar / Epóxi</b>	305,93	1977,95	1730,70	2036,63	3
<b>Vidro / Epóxi</b>	476,70	1977,95	1730,70	2207,40	11

Cabe ressaltar que o acréscimo de massa calculado encontra-se concentrado na região central do tubo.

Se for levada em consideração essa avaliação isolada, pode-se concluir que o compósito Carbono / Epóxi seria o mais indicado por apresentar uma diminuição na massa enquanto os demais apresentam acréscimos que variam de 3 a 11%, logo acrescentando assim menores esforços.

Essa conclusão confronta a colocada no item 4.4 quando se acreditou ser o Vidro/Epóxi o compósito mais apropriado, do ponto de vista econômico.

Tabela 4.15 – Relação  $E/m_{\text{reparo}}$ .

<b>Compósito</b>	<b><math>m_{\text{reparo}}</math> (g)</b>	<b>E (GPa)</b>	<b><math>E/m_{\text{reparo}}</math> (x10E2)</b>
Carbono / Epóxi	153,51	65,518	4,27
Kevlar / Epóxi	305,93	30	0,98
Vidro / Epóxi	476,70	23,738	0,49

Quando se avalia a relação “ $E/m_{\text{reparo}}$ ”, o compósito ideal é aquele que apresentar o maior valor, uma vez que tem-se no numerador uma grandeza que espera-se ser a maior possível (E) e no denominador outra que espera-se ser a menor possível ( $m_{\text{reparo}}$ ).

Como o reparo, idealmente, deve apresentar os menores valores de custo, espessura e massa, o produto “ $R\$ \times e_{\text{reparo}} \times m_{\text{reparo}}$ ” deve ser o menor possível, conforme Tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Relação  $R\$ \times e_{\text{reparo}} \times m_{\text{reparo}}$ .

<b>Compósito</b>	<b>R\$</b>	<b><math>e_{\text{reparo}}</math> (mm)</b>	<b><math>m_{\text{reparo}}</math> (g)</b>	<b><math>R\\$ \times e_{\text{reparo}} \times m_{\text{reparo}}</math> (x10E3)</b>
Carbono / Epóxi	28,14	3,05	153,51	13,18
Kevlar / Epóxi	32,20	6,67	305,93	65,71
Vidro / Epóxi	8,88	8,43	476,70	35,68

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 Validação do Modelo Proposto

As simulações foram comparadas, inicialmente, com resultados experimentais da literatura, para tubos de alumínio: (i) íntegro, (ii) desbastado e (iii) reparados, submetidos a pressões de 1, 2, 3, 4 e 5 bar, apresentando erros percentuais médios ( $e_m$ ) de **(i)-1,094%**, **(ii) -2,598%** e **(iii) -0,758%**

respectivamente, calculados por  $e_m = \frac{\sum_{i=1}^5 e_i}{5}$ .

Esses valores representam a proximidade dos valores encontrados através da simulação numérica, com os encontrados em análise experimental.

Outra forma de avaliar a fidelidade do modelo proposto à realidade do comportamento do tubo é através das curvas de deformação circunferencial. Observou-se que estas convergiam para valores praticamente constantes à medida que o número de elementos da malha de elementos finitos fora sequencialmente aumentado de 10 para 120 elementos.

Esse comportamento de convergência foi observado para todos os valores de pressão utilizados, independente da configuração dos tubos (íntegro, desbastado ou reparado), conforme ilustrado nos Gráficos de 1 a 5.

Para a Resultante de Tensão Circunferencial ( $N_\theta$ ), o Gráfico 9, para 120 elementos, apresenta um comportamento com perturbações esperadas na região do engastamento e estabilidade ao longo da região central, diferente do ilustrado pelo Gráfico 8, para 10 elementos, que apresenta instabilidade ao longo do comprimento.

Sendo o  $N_\theta$  estabilizado, admitindo a Teoria de Membrana, dado por:  $N_\theta = P \times r$ , onde P= pressão e r = raio médio do tubo, tem-se para o tubo desbastado de Alumínio e de Aço: (Tabela 5.1e Tabela 5.2).

Tabela 5.1 – Comparativo  $N_\theta$  - Tubo de Alumínio Desbastado – valores em MPa x mm.

Pressão (MPa)	Raio médio (mm)	$N_\theta$ calculado	$N_\theta$ simulação	Erro %
0,1	39,65	3,965	3,807	-3,98
0,2	39,65	7,93	7,615	-3,97
0,3	39,65	11,895	11,42	-3,99
0,4	39,65	15,86	15,23	-3,97
0,5	39,65	19,825	19,03	-4,01
<b>Erro Médio</b>				<b>-3,98</b>

Tabela 5.2 – Comparativo  $N_\theta$  - Tubos de Aço Desbastado – valores em MPa x mm.

Pressão (MPa)	Raio médio (mm)	$N_\theta$ calculado	$N_\theta$ simulação	Erro %
2,0	49	98	95,97	-2,07
4,0	49	196	191,8	-2,14
6,0	49	294	287,6	-2,18
8,0	49	392	383,4	-2,19
10,0	49	490	479	-2,24
<b>Erro Médio</b>				<b>-2,16</b>

O que demonstra coerência entre os valores encontrados através da simulação.

Para a Resultante de Momento Fletor Circunferencial ( $M_{\theta}$ ), a diferença do comportamento apresentado no Gráfico 10, para 10 elementos, daquele ilustrado no Gráfico 11, para 120 elementos, demonstra quão sensível é essa variável em relação ao número de elementos da malha de elementos finitos.

Sendo assim, a garantia de convergência pode ser obtida admitindo-se uma malha com 120 elementos.

## 5.2 Simulação Numérica - COMPSHELL

Através do Gráfico 35, para o tubo íntegro de aço, por exemplo, é possível observar a linearidade do deslocamento radial máximo ( $w_{\text{máx}}$ ) no centro do tubo em relação à pressão ( $P$ ), conforme listado na Tabela 5.3 e ilustrado na Figura 5.1.

Tabela 5.3 – Deslocamentos máximos ( $w_{\text{máx}}$ ) – valores em mm.

Pressão (MPa)	Íntegro	Desbastado	Carbono/Epóxi	Kevlar/Epóxi	Vidro/Epóxi
2,0	1,103 E-2	2,120 E-2	1,090 E-2	1,07E-02	1,07E-02
4,0	2,205 E-2	4,230 E-2	2,180 E-2	2,14E-02	2,13E-02
6,0	3,307 E-2	6,340 E-2	3,270 E-2	3,21E-02	3,20E-02
8,0	4,408 E-2	8,450 E-2	4,358 E-2	4,28E-02	4,26E-02
10,0	5,509 E-2	10,500 E-2	5,447 E-2	5,34E-02	5,33E-02

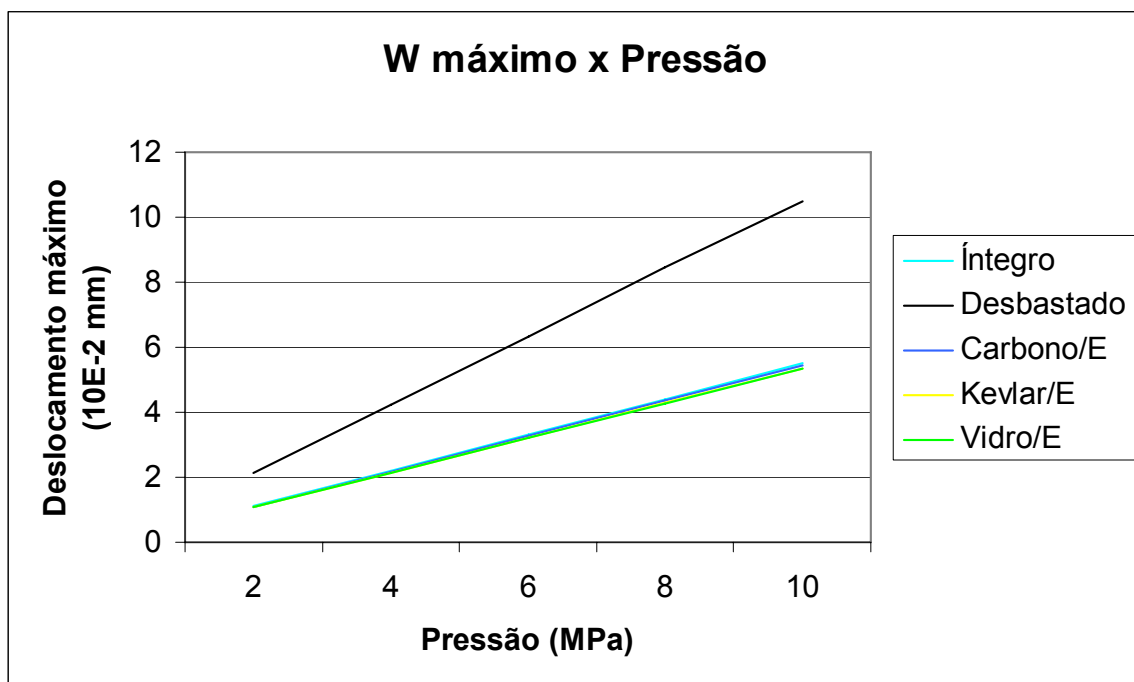


Figura 5.1 – Deslocamento Radial máximo ( $w_{\text{máx}}$ ) x Pressão.

A mesma linearidade é observada para a deformação circunferencial máxima, conforme Gráfico 34, para o tubo íntegro, por exemplo, conforme Tabela 5.4 e Figura 5.2.

Tabela 5.4 – Deformação Circunferencial Máxima ( $\epsilon_{c \text{ máx}}$ ) – valores em 10 E-6.

Pressão (MPa)	Íntegro	Desbastado	Carbono/Epóxi	Kevlar/Epóxi	Vidro/Epóxi
2,0	2,206 E-4	4,330 E-4	2,180 E-4	2,140 E-4	2,132 E-4
4,0	4,410 E-4	8,630 E-4	4,360 E-4	4,278 E-4	4,264 E-4
6,0	6,614 E-4	12,900 E-4	6,540 E-4	6,416 E-4	6,394 E-4
8,0	8,816 E-4	17,200 E-4	8,716 E-4	8,552 E-4	8,524 E-4
10,0	11,018 E-4	21,400 E-4	10,894 E-4	10,688 E-4	10,652 E-4

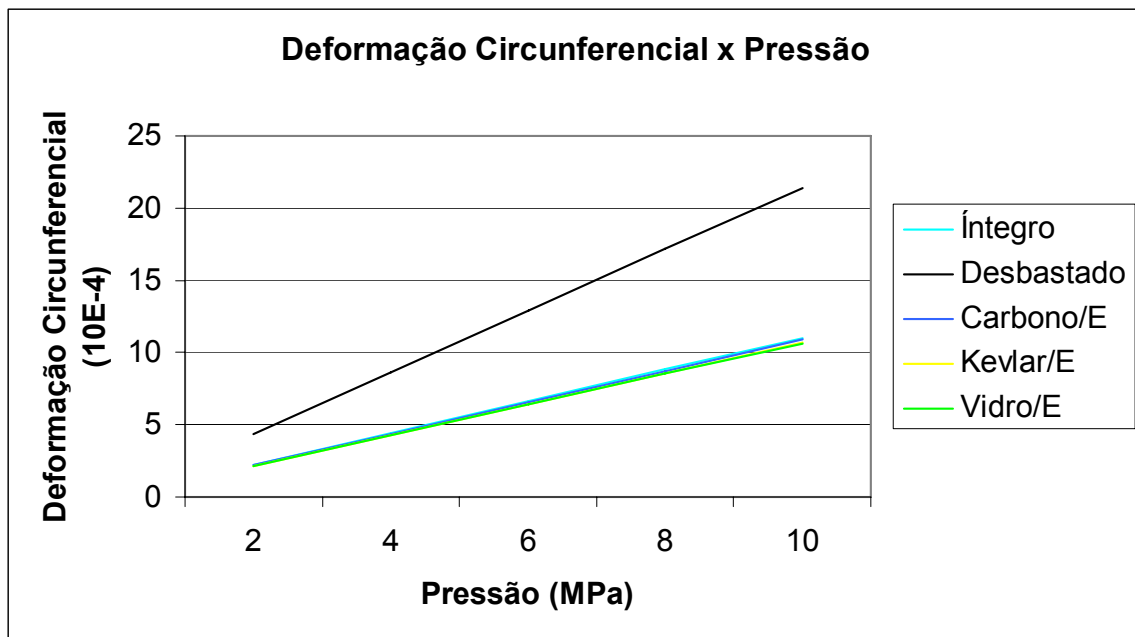


Figura 5.2 – Deformação Circunferencial máxima ( $\epsilon_{c \text{ máx}}$ ) x Pressão.

### 5.3 Espessura Ideal de Reparo

A determinação da espessura ideal de reparo para restabelecer a rigidez, através da equação (42),  $t_{rep} \cdot E_{rep} = t_{aço} \cdot E_{aço}$ , que resultou nos valores apresentados na Tabela 5.5, demonstrou-se uma aproximação bastante eficiente, uma vez que os resultados obtidos para deslocamento radial e deformação circunferencial máximos apresentados foram obtidos admitindo as espessuras citadas.

Tabela 5.5 – Espessura do reparo.

Material	$t_{rep}$ (mm)
Carbono/Epóxi	3,05
Kevlar/Epóxi	6,67
Vidro/Epóxi	8,43

Sendo assim, através de uma equação simples é possível determinar o parâmetro necessário à solução de um problema complexo de engenharia.



## 5.4 Restituição da Rigidez

O deslocamento absoluto ( $w$ ), para o tubo de aço desbastado em 50% da espessura, e sua variação ( $\Delta w$ ) foram considerados conforme Figura 5.3 abaixo e são apresentadas nas Tabelas 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8.

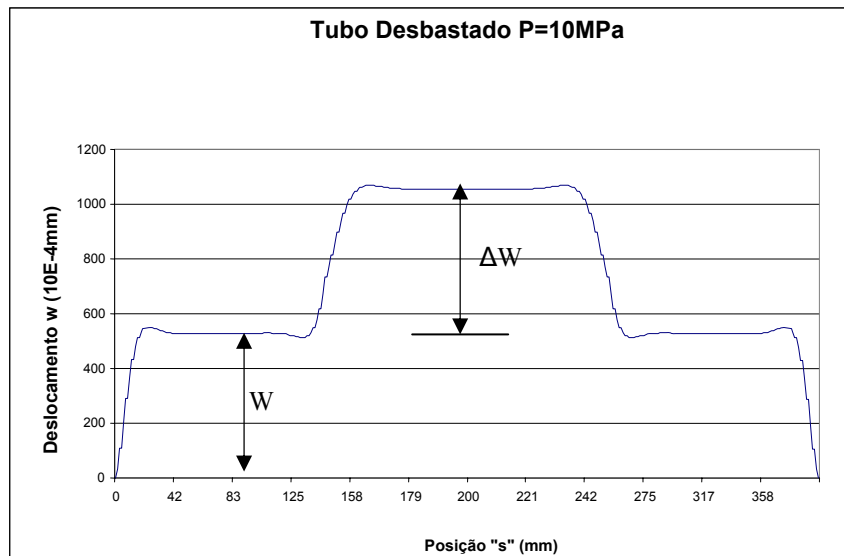


Figura 5.3 - Representação do deslocamento máximo absoluto ( $w_{\text{máx}}$ ) e sua variação ( $\Delta w_{\text{máx}}$ ).

Tabela 5.6 – Deslocamentos máximos ( $w_{\text{máx}}$ ) – Tubos de Aço Íntegro e Desbastado – valores em mm.

Pressão (MPa)	Íntegro	Desbastado	$\Delta w_{\text{máx}}$	$\Delta w_{\text{máx}}/w_{\text{máx}}$ %
2,0	1,103 E-2	2,120 E-2	1,020 E-2	92,20
4,0	2,205 E-2	4,230 E-2	2,030 E-2	91,84
6,0	3,307 E-2	6,340 E-2	3,030 E-2	91,71
8,0	4,408 E-2	8,450 E-2	4,040 E-2	91,70
10,0	5,509 E-2	1,050 E-1	4,990 E-2	90,60

Os dados da Tabela 5.6 demonstram a influência da diminuição da espessura (tubo desbastado) no deslocamento radial máximo, por consequência da diminuição da rigidez local, em relação ao tubo íntegro.

Tabela 5.7 – Deslocamentos máximos ( $w_{\text{máx}}$ ) – Carbono / Epóxi – valores em mm.

Pressão (MPa)	Íntegro	Carbono/ Epóxi	$\Delta w_{\text{máx}}$	$\Delta w_{\text{máx}}/w_{\text{máx}}$ %
2,0	1,103 E-2	1,090 E-2	-1,30E-04	-1,18%
4,0	2,205 E-2	2,180 E-2	-2,50E-04	-1,13%
6,0	3,307 E-2	3,270 E-2	-3,70E-04	-1,12%
8,0	4,408 E-2	4,358 E-2	-5,00E-04	-1,13%
10,0	5,509 E-2	5,447 E-2	-6,20E-04	-1,13%

Tabela 5.8 – Deslocamentos máximos ( $w_{m\acute{a}x}$ ) – Kevlar / Epóxi – valores em mm.

Pressão (MPa)	Íntegro	Kevlar/ Epóxi	$\Delta w_{m\acute{a}x}$	$\Delta w_{m\acute{a}x}/w_{m\acute{a}x}$ %
2,0	1,103 E-2	1,07E-02	-3,30E-04	-2,99%
4,0	2,205 E-2	2,14E-02	-6,50E-04	-2,95%
6,0	3,307 E-2	3,21E-02	-9,90E-04	-2,99%
8,0	4,408 E-2	4,28E-02	-1,32E-03	-2,99%
10,0	5,509 E-2	5,34E-02	-1,65E-03	-3,00%

Tabela 5.9 – Deslocamentos máximos ( $w_{m\acute{a}x}$ ) – Vidro / Epóxi – valores em mm.

Pressão (MPa)	Íntegro	Vidro/ Epóxi	$\Delta w_{m\acute{a}x}$	$\Delta w_{m\acute{a}x}/w_{m\acute{a}x}$ %
2,0	1,103 E-2	1,07E-02	-3,30E-04	-2,99%
4,0	2,205 E-2	2,13E-02	-7,50E-04	-3,40%
6,0	3,307 E-2	3,20E-02	-1,07E-03	-3,24%
8,0	4,408 E-2	4,26E-02	-1,48E-03	-3,36%
10,0	5,509 E-2	5,33E-02	-1,79E-03	-3,25%

Os valores apresentados na Tabela 5.7, Tabela 5.8 e Tabela 5.9 demonstram que os três reparos utilizados foram capazes de controlar o deslocamento radial máximo ( $w_{m\acute{a}x}$ ), que aumentou em até 92% para o tubo de aço desbastado em relação ao tubo íntegro. O deslocamento radial máximo, bem como a deformação circunferencial máxima, foram restituídos ao padrão do tubo íntegro através da recuperação da rigidez (perdida no desbaste) aplicando-se reparos compósitos.

Em todos os casos observa-se um pequeno estrangulamento local, visível inclusive nos Gráficos “Comparativo Deslocamento Radial x Posição s”, para cada tipo de reparo, apresentados no Capítulo 4, conforme exemplos ilustrados na Figura 5.4, Figura 5.5 e Figura 5.6.

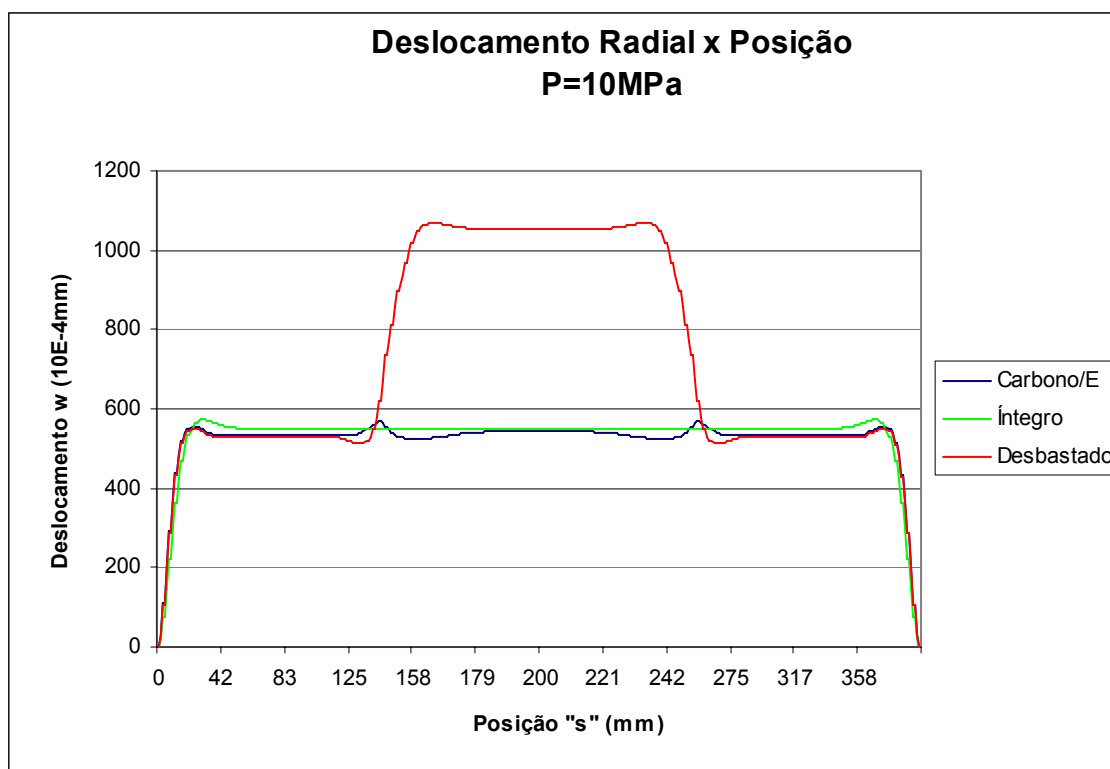


Figura 5.4 – Comparativo Deslocamento Radial x Posição “s” – Carbono / Epóxi.

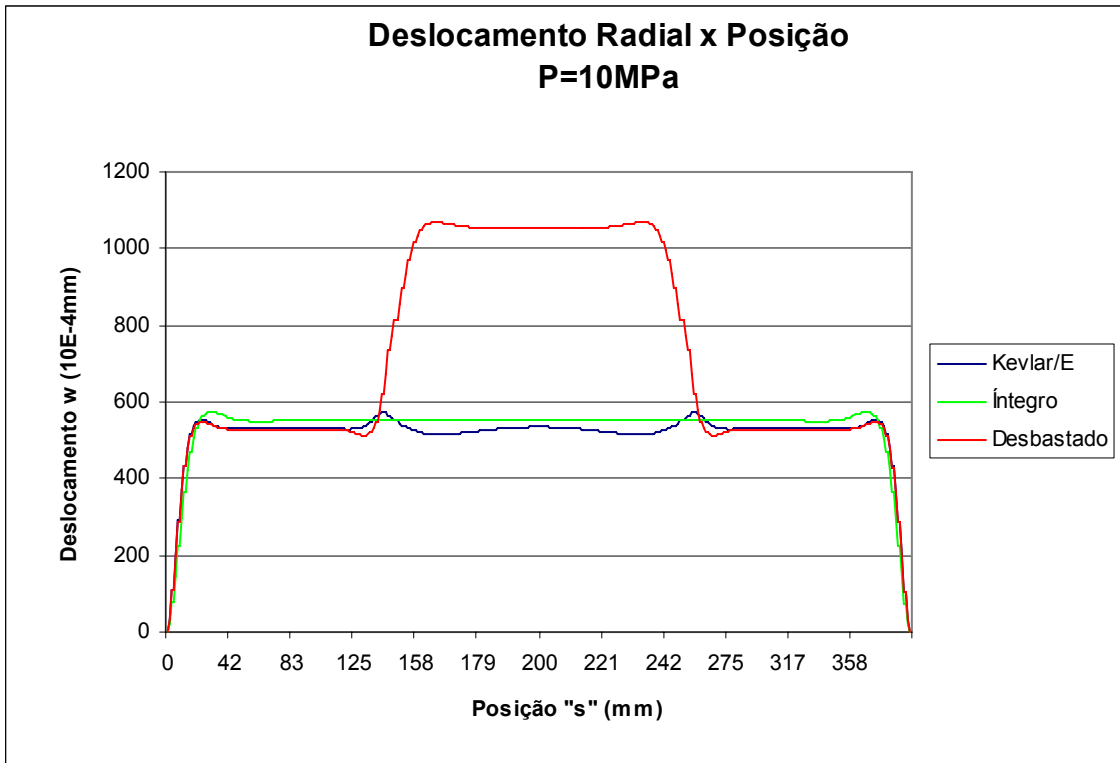


Figura 5.5 – Comparativo Deslocamento Radial x Posição “s” – Kevlar / Epóxi.

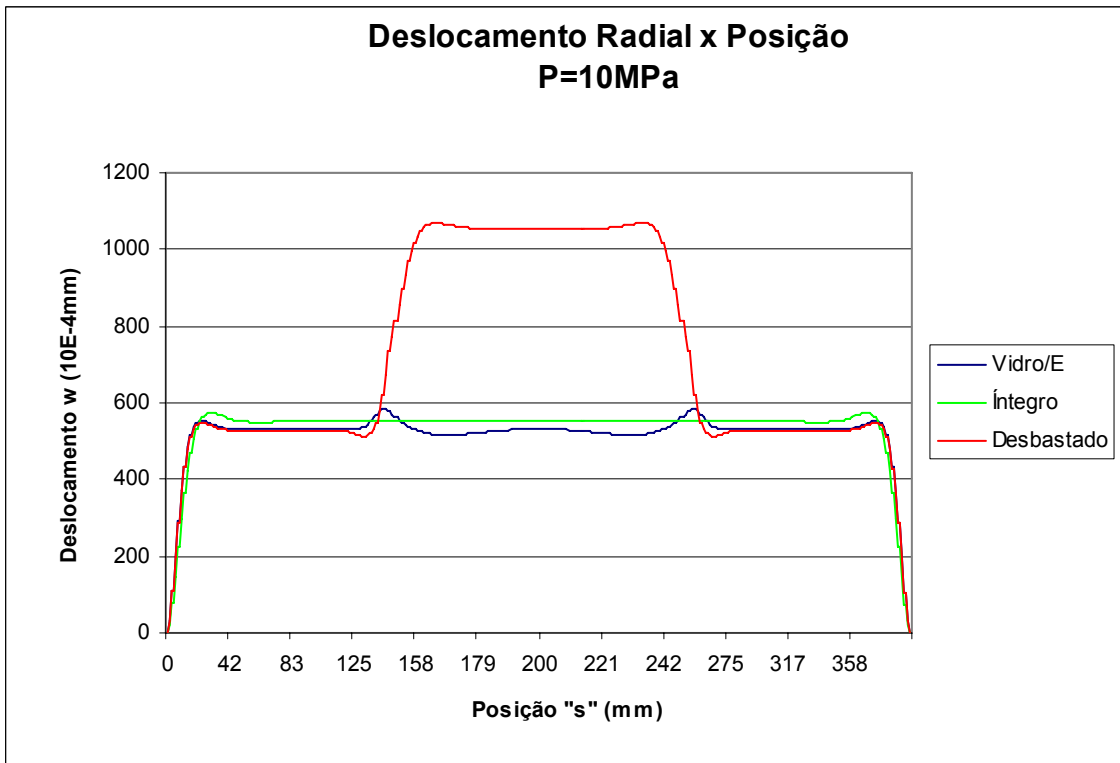


Figura 5.6 – Comparativo Deslocamento Radial x Posição “s” – Vidro / Epóxi.

### 5.5 Resultante de Momento Fletor Circunferencial ( $M_\theta$ ).

Através dos Gráficos 49 a 53, para o tubo íntegro, por exemplo, observa-se que a Resultante de Momento Fletor Circunferencial ( $M_\theta$ ), tende a zero quando se afasta dos engastamentos, para distâncias maiores que  $L/10$ , para qualquer valor de pressão (Figura 5.7), ou seja:

$$M_\theta \rightarrow 0 \text{ quando } s \cong \frac{L}{10}, \forall P$$

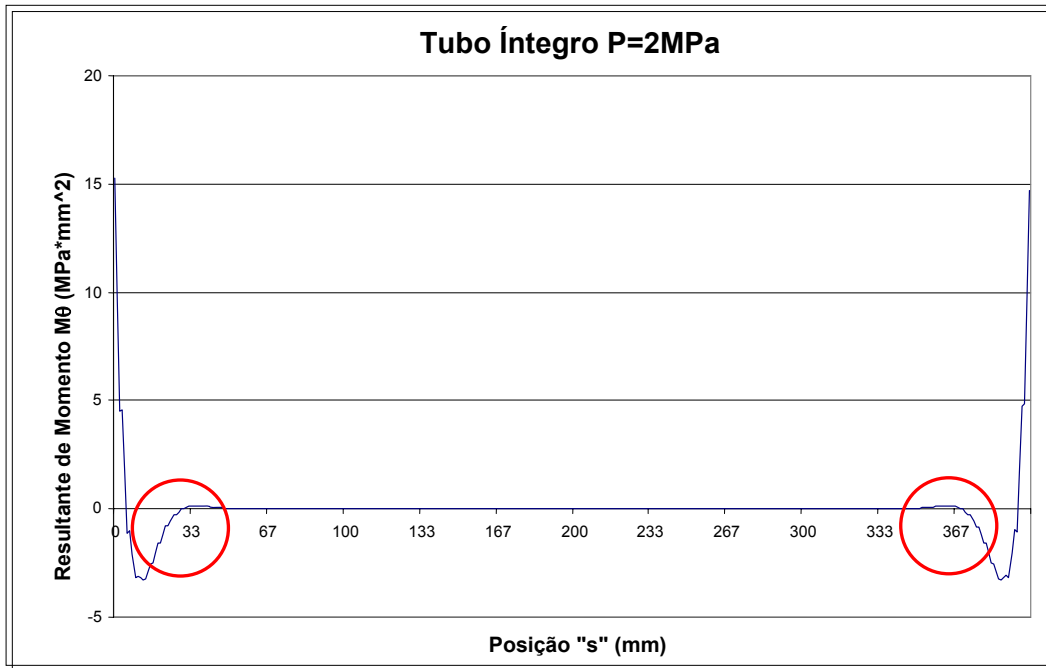


Figura 5.7 – Resultante de Momento Fletor tendendo a zero.

### 5.6 Resultante de Tensão Circunferencial ( $N_\theta$ ).

Observa-se que a perturbação presente na região do desbaste, para a Resultante de Tensão Circunferencial ( $N_\theta$ ), é minimizada quando da aplicação do reparo, conforme ilustrado na Figura 5.8.

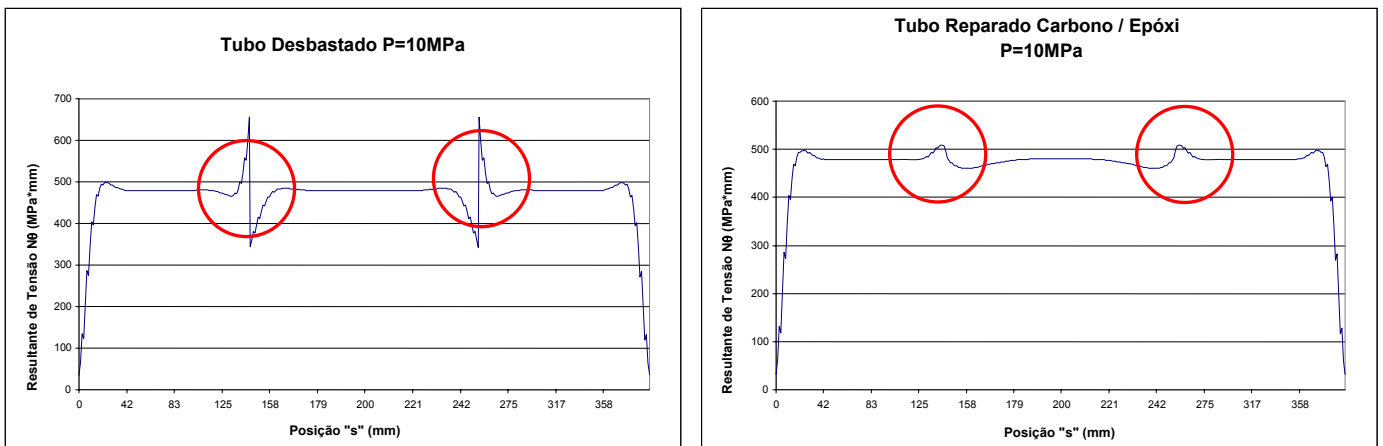


Figura 5.8 – Resultante de Tensão Circunferencial minimizada pelo reparo.

## 5.7 Análise Econômica.

Com a restituição da rigidez do tubo de aço garantida, independente dos três compósitos utilizados, cabe avaliar qual destes apresenta a melhor relação custo benefício. Para facilitar a análise, admitiram-se os parâmetros listados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Parâmetros econômicos.

Compósito	R\$	$e_{\text{reparo}}$ (mm)	E (MPa)	R\$/ $e_{\text{reparo}}$	R\$ x $e_{\text{reparo}}$	$m_{\text{reparado}}$ (g)	E/ $m_{\text{reparo}}$ (*10E2)	R\$ x $e_{\text{reparo}}$ x $m_{\text{reparo}}$ (10E3)
Carbono / Epóxi	28,14	3,05	65.518	9,22	85,83	1.884,21	4,27	13,18
Kevlar / Epóxi	32,20	6,67	30.000	4,83	214,77	2.036,63	0,98	65,71
Vidro / Epóxi	8,88	8,43	23.738	1,05	74,86	2.207,40	0,49	35,68

Avaliando apenas o **custo**, o reparo Vidro/Epóxi se mostrou a melhor opção, chegando a apresentar 68% de economia em relação ao Carbono/Epóxi e 72% em relação ao Kevlar/Epóxi.

Entretanto, avaliando a relação **R\$/espessura**, de forma a equalizar as propostas dos três compósitos, já que estes apresentam espessuras diferentes para oferecer o mesmo resultado, observamos que o compósito Kevlar / Epóxi que apresentava o maior custo, demonstrou uma relação de custo/espessura 48% menor que o Carbono / Epóxi, que inicialmente se apresentou uma solução mais atraente, não superando a economia proporcionada pelo Vidro / Epóxi.

Uma característica desejada é que o reparo apresente, além de menor custo (R\$), menor espessura ( $e_{\text{reparo}}$ ), representado pelo índice “**R\$ x  $e_{\text{reparo}}$** ” que deve ser o menor possível. Sendo assim, o Vidro/Epóxi continua sendo a solução mais viável, seguido de perto pelo Carbono/Epóxi.

Entretanto, se for levado em consideração a avaliação da massa do reparo, conforme listado na Tabela 4.14, pode-se concluir que o compósito Carbono/Epóxi seria o mais indicado por apresentar uma diminuição na massa enquanto os demais apresentam acréscimos que variam de 3 a 11%, logo acrescentando assim menores esforços.

Para o índice “**E/ $m_{\text{reparo}}$** ”, o compósito ideal é aquele que apresentar o maior valor, uma vez que se tem no numerador uma grandeza que se espera ser a maior possível (E) e no denominador outra que se espera ser a menor possível ( $m_{\text{reparo}}$ ), sendo liderada pelo Carbono/Epóxi, seguido pelo Kevlar/Epóxi.

Dentre os vários parâmetros analisados, a expectativa do reparo ideal se reflete em baixo custo, menor espessura e menor peso, resultando no índice “**R\$ x  $e_{\text{reparo}}$  x  $m_{\text{reparo}}$** ”, que deve ser o menor possível. Segundo esse índice, o Carbono/Epóxi representa o compósito ideal, para a configuração de tubos analisada.

## 5.8 Critério de Falha.

Avaliando os tubos para o critério de falha de Tsai Hill, obtem-se os resultados listados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Resultados do critério de falha.

Tubo	P falha (MPa)	S falha (mm)	Camada Falha	Material Camada Falha
Íntegro	10,76	0,00	1	Aço
Desbastado	10,15	237,50	1	Aço
Carbono / Epóxi	11,30	0,00	1	Aço
Kevlar / Epóxi	11,26	0,00	1	Aço
Vidro / Epóxi	11,28	0,00	1	Aço

Observa-se que para o tubo desbastado, a falha ocorre na posição  $s=237,50\text{mm}$ , justamente na região desbastada que vai de 150 mm a 250 mm. Para os tubos com reparos, o comportamento se assemelha àquele apresentado pelo tubo íntegro, rompendo no engastamento ( $s=0,0$ ).

Sendo assim, o desbaste, teoricamente, pode induzir uma falha com  $P = 10$  MPa enquanto que os reparos restituem a resistência original do tubo íntegro, voltando a extremidade engastada ( $s = 0,0$ ) a ser a região crítica, onde há picos de Momentos Fletores Circunferenciais e Axiais e a falha ocorre para  $P = 11$  MPa.

Quando não há cisalhamento no plano e sendo o material considerado isotrópico, substituindo-se as resistências pelo valor da tensão de escoamento, a equação do critério de Tsai Hill resume-se à de Von Mises.

**Tsai Hill:**

$$\left(\frac{\sigma_1}{X}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_1\sigma_2}{X^2}\right) + \left(\frac{\sigma_2}{Y}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S_{12}}\right)^2 < 1$$

$$X = X_{1T} \text{ se } \sigma_1 > 0 \text{ e } X = X_{1C} \text{ se } \sigma_1 < 0; Y = X_{2T} \text{ se } \sigma_2 > 0 \text{ e } Y = X_{2C} \text{ se } \sigma_2 < 0.$$

**Von Mises:**

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{esc}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_1\sigma_2}{\sigma_{esc}^2}\right) + \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_{esc}}\right)^2 < 1$$

Onde:

$\sigma_1, \sigma_2, \tau_{12}$  = tensões aplicadas;

$X_{1T}, X_{2T}$  = resistência a tração – direções 1 e 2;

$X_{1C}, X_{2C}$  = resistência a compressão – direções 1 e 2;

$\sigma_{esc}$  = limite de escoamento.

Assim, esta análise simplificada de falha sugere um início de deformação plástica do aço, que pode desencadear a falha do tubo, conforme verificado nas simulações que indicam falha na camada 1, cujo material é o aço.

## 6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- A análise de convergência foi utilizada para validar o modelo proposto, comparando com valores disponíveis na literatura.

Observou-se a influência do número de elementos da malha de elementos finitos no comportamento do tubo simulado, levando à convergência à medida que o número de elementos fora sequencialmente aumentado de 10 para 120 elementos.

Sendo assim, conclui-se que o número mínimo necessário para representação fiel de um modelo de elementos finitos é de 120 elementos, no caso específico dos tubos analisados neste trabalho.

- A eficiência do modelo utilizado é comprovada pela proximidade dos valores encontrados para deslocamentos radiais e deformações circunferenciais no tubo, através da simulação numérica, com os obtidos em análise experimental.

A avaliação da Resultante de Tensão Circunferencial ( $N_\theta$ ) estabilizada para o tubo de aço AISI 1020 reforça essa fidelidade, uma vez que os valores calculados admitindo-se a Teoria de Membrana ( $N_\theta = P \cdot R$ ) apresentam erros médios de **-2,16%** em relação aos valores obtidos através da simulação numérica.

- Uma conclusão importante é a que diz respeito à determinação da espessura ideal de reparo para restabelecer a rigidez, utilizando a seguinte equação:

$$t_{rep} \cdot E_{rep} = t_{aço} \cdot E_{aço}$$

Uma vez que se determinou avaliar a restituição da rigidez através da análise do deslocamento radial e da deformação circunferencial, tornou-se fundamental a determinação da espessura de reparo necessária para que esses parâmetros voltassem aos padrões demonstrados pelo tubo íntegro.

Como os resultados obtidos para os tubos reparados, através da simulação numérica, apresentaram grande proximidade com os obtidos para o tubo íntegro (discrepância de -2,38% em média), conclui-se que as espessuras calculadas através da equação citada são suficientes e que a equação é válida.

- A avaliação do deslocamento radial e da deformação circunferencial obtidos para os tubos reparados, permite concluir que os três reparos utilizados (Carbono/Epóxi, Kevlar/Epóxi e Vidro/Epóxi) foram capazes de recuperar a rigidez estrutural dos tubos (perdida no desbaste) sem provocar significativo estrangulamento (por excesso de rigidez) ou estufamento (por deficiência de rigidez) no local do desbaste.
- Outra demonstração da eficiência dos reparos é observada através da perturbação presente na região do desbaste, para a Resultante de Tensão Circunferencial ( $N_\theta$ ), que é minimizada quando da aplicação do reparo.
- A análise econômica dos reparos compósitos utilizados levou em consideração critérios como custo, espessura, massa e rigidez do reparo. Avaliando isoladamente cada um desses parâmetros, chega-se a conclusões distintas em relação ao reparo mais apropriado, entretanto, quando utilizados índices que relacionam esses parâmetros entre si, a identificação se torna mais clara.

Na Tabela 6.1 a seguir, os itens em destaque indicam o melhor reparo compósito para cada índice avaliado.

Tabela 6.1 – Parâmetros econômicos.

Compósito	R\$	R\$/ $e_{\text{reparo}}$	R\$* $e_{\text{reparo}}$	$m_{\text{reparado}}$ (g)	E/ $m_{\text{reparo}}$ (*10E2)	R\$* $e_{\text{reparo}}$ * $m_{\text{reparo}}$ (10E3)
Carbono / Epóxi	28,14	9,22	85,83	1.884,21	4,27	13,18
Kevlar / Epóxi	32,20	4,83	214,77	2.036,63	0,98	65,71
Vidro / Epóxi	8,88	1,05	74,86	2.207,40	0,49	35,68

De forma resumida, tem-se:

**Menor custo:** Vidro/Epóxi < Carbono/Epóxi < Kevlar/Epóxi.

**Menor custo por milímetro de reparo:** Vidro/Epóxi < Kevlar/Epóxi < Carbono/Epóxi.

**Menor relação “R\$\*  $e_{\text{reparo}}$ ”:** Vidro/Epóxi < Carbono/Epóxi < Kevlar/Epóxi.

**Menor massa:** Carbono/Epóxi < Kevlar/Epóxi < Vidro/Epóxi.

**Maior relação “E/  $m_{\text{reparo}}$ ”:** Carbono/Epóxi > Kevlar/Epóxi > Vidro/Epóxi.

**Menor relação “R\$\* $e_{\text{reparo}}$ \* $m_{\text{reparo}}$ ”:** Carbono/Epóxi < Vidro/Epóxi < Kevlar/Epóxi.

Dentre os seis índices avaliados, o Vidro/Epóxi se destaca em três deles (R\$, R\$/ $e_{\text{reparo}}$  e R\$\* $e_{\text{reparo}}$ ) e o Carbono/Epóxi se destaca em outros três ( $m_{\text{reparo}}$ , E/  $m_{\text{reparo}}$  e R\$\* $e_{\text{reparo}}$ \* $m_{\text{reparo}}$ ), enquanto que o Kevlar/Epóxi não demonstrou ser mais adequado em nenhum dos parâmetros.

Entretanto, se considerar o reparo ideal como aquele que apresente, simultaneamente, baixo custo, menor espessura e menor peso, representado pelo índice “R\$\*  $e_{\text{reparo}}$ \*  $m_{\text{reparo}}$ ”, conclui-se que o Carbono/Epóxi se apresenta como o compósito ideal, para a configuração de tubos analisada.

Como sugestão para trabalhos futuros, tem-se:

- Estudo incluindo reparos compósitos híbridos, como, por exemplo, Vidro-e / Carbono / Epóxi;
- Análise de mecanismos de falha para tubos íntegros, desbastados e reparados;
- Análise de reparos não axissimétricos, considerando danos localizados em setores circulares menores que 360°.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DATOO, M. H., College of Aeronautics Laminate Analysis, 1989 – Cranfield.

GEIR, M. H., “Quality Handbook for Materials”, Chapman & Hall, 1995.

GIBSON, R. F., “Principles of Composite Material Mechanics”, MC Graww Hill, New York, 1994.

HALLAWAY, L., “Handbook of Polymer Composites for Engineers”, British Plastics Federetion, 1994.

HULL, D. and CLYNE, T. W. “An Introduction to Composite Materials”, Cambridge University Press, 1996.

JONES, R. M., “Mechanics of Composite Materials”, MC Graww Hill, New York, 1975.

KIM, D. h., “Composite Structures for Civil and Architectural Engineering”, Chapman & Hall, 1995.

KRAUS, H. “Thin Elastic Shells”, John Wiley & Sns Inc., 1967.

LEVY NETO, F., “The behavior of Externally Pressurizes Composite Domes”, Ph. D. Dissertation Thesis, Department of Mechanical Engineering University of Liverpool, 1991.

LEVY NETO, F e PARDINI, L. C., “Compósitos Estruturais – Ciência e Tecnologia.”, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2006.

MAIA, G. C., Comportamento elástico de cilindros com e sem reparo circunferencial de carbono/epóxi. Dissertação de mestrado, publicação DM-68, Departamento de engenharia mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 229p, 2003.

MAYER, A. G., “Design with Reinforced Plastics”, Chapman & Hall, 1995.

MAYER, R. M. and HANCOX, N., “Design Data for Reinforced Plastics”, Chapman & Hall, 1995.

MOAVENI, S., “Finite Element Analysis-Theory and Application with ANSYS”, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1999.

SILVA TELLES, P. C., “Tubulações Industriais: Materiais, Projeto e Montagem” Editora LTC, Rio de Janeiro, 2003.

TENEK, L. t. and ARGYRIS, J., “ Finite Element Analysis for composite structures”, Kluwer Academic Publishers, London, 1998.

TOUTANJI, H. and DEMPSEY, S., “Stress modeling of pipelines strengthened with advanced composites materials”, June 2000, University of Alabama in Huntsville. Disponível em [www.scirus.com](http://www.scirus.com), Volume 39, Issue 2, February 2001, Pages 153-165.

[www.abcol.com.br](http://www.abcol.com.br)

[www.matweb.com](http://www.matweb.com)

[www.scirus.com](http://www.scirus.com)

## A. ENTRADA DE DADOS UTILIZADOS PELO SOFTWARE COMPSHELL

A seguir, os dados de entrada utilizados pelo software COMPSHELL, para simulação do tubo desbastado e reparado com Carbono/Epóxi, submetido à pressão de 10MPa, conforme configuração apresentada na seção 3.2.

```
1      Analysis (1:static, 2:stability, 3:buckling, 4:fequency) ?
  n      Do you want to print strains & stresses (Y/N) ?
        Failure criterion ? (1:Max. stress, 2:Max. strain,
          3:Tsai-Hill, 4:Hoffman, 5:Tsai-Wu stress,
          6:Tsai-Wu strain, 7:Owen, 8:All) ?
  3      Number of segments ?
0.000000E+00 Starting x co-ord. of the structure ?
4.800000E+01 Starting r co-ord. of the structure ?
        *****Segment No. 1*****
  1.0     Type (1: cone/cylinder, 2: toroid/sphere) ?
  36.0    Number of elements in the segment ?
1.000000E+00 Step ratio (>1 for incr. and <1 for decr) ?
1.500000E+02 x co-ord. of the end of the segment ?
4.800000E+01 r co-ord. of the end of the segment ?
  y      Is the composition of this segment new (Y/N) ?
  1      Number of layers ?
  y      Layer : 1 New properties (Y/N) ?
7.870000E-03 Density ?
2.000000E+00 Thickness ?
2.000000E+05 Youngs Modulus, E11 ?
2.000000E+05 Youngs Modulus, E22 ?
2.900000E-01 Poissons ratio (nu12, smaller of the two) ?
8.000000E+04 Shear Modulus, G12 ?
4.400000E+02 Ultimate strength in tension, X1T ?
4.400000E+02 Ultimate strength in compression, X1C ?
4.400000E+02 Ultimate strength in tension, X2T ?
4.400000E+02 Ultimate strength in compression, X2C ?
2.000000E+02 Shear strength, S12 ?
1.000000E+00 Ultimate strain in tension, E1T ?
1.000000E+00 Ultimate strain in compression E1C ?
1.000000E+00 Ultimate strain in tension, E2T ?
1.000000E+00 Ultimate strain in compression, E2C ?
1.000000E+00 Ultimate in-plane shear strain, E12 ?
0.000000E+00 Winding angle ?
        *****Segment No. 2*****
  1.0     Type (1: cone/cylinder, 2: toroid/sphere) ?
  48.0    Number of elements in the segment ?
1.000000E+00 Step ratio (>1 for incr. and <1 for decr) ?
2.500000E+02 x co-ord. of the end of the segment ?
4.800000E+01 r co-ord. of the end of the segment ?
  y      Is the composition of this segment new (Y/N) ?
  2      Number of layers ?
  y      Layer : 1 New properties (Y/N) ?
7.870000E-03 Density ?
1.000000E+00 Thickness ?
2.000000E+05 Youngs Modulus, E11 ?
2.000000E+05 Youngs Modulus, E22 ?
2.900000E-01 Poissons ratio (nu12, smaller of the two) ?
8.000000E+04 Shear Modulus, G12 ?
4.400000E+02 Ultimate strength in tension, X1T ?
4.400000E+02 Ultimate strength in compression, X1C ?
4.400000E+02 Ultimate strength in tension, X2T ?
4.400000E+02 Ultimate strength in compression, X2C ?
2.000000E+02 Shear strength, S12 ?
1.000000E+00 Ultimate strain in tension, E1T ?
1.000000E+00 Ultimate strain in compression E1C ?
```

1.000000E+00 Ultimate strain in tension, E2T ?  
1.000000E+00 Ultimate strain in compression, E2C ?  
1.000000E+00 Ultimate in-plane shear strain, E12 ?  
0.000000E+00 Winding angle ?  
y Layer : 2 New properties (Y/N) ?  
1.600000E-03 Density ?  
3.050000E+00 Thickness ?  
6.518000E+04 Youngs Modulus, E11 ?  
6.518000E+04 Youngs Modulus, E22 ?  
5.000000E-02 Poissons ratio (nu12, smaller of the two) ?  
4.663000E+03 Shear Modulus, G12 ?  
6.176000E+02 Ultimate strength in tension, X1T ?  
4.654000E+02 Ultimate strength in compression, X1C ?  
6.176000E+02 Ultimate strength in tension, X2T ?  
4.654000E+02 Ultimate strength in compression, X2C ?  
7.820000E+01 Shear strength, S12 ?  
1.000000E+00 Ultimate strain in tension, E1T ?  
1.000000E+00 Ultimate strain in compression E1C ?  
1.000000E+00 Ultimate strain in tension, E2T ?  
1.000000E+00 Ultimate strain in compression, E2C ?  
1.000000E+00 Ultimate in-plane shear strain, E12 ?  
0.000000E+00 Winding angle ?  
\*\*\*\*\*Segment No. 3\*\*\*\*\*  
1.0 Type (1: cone/cylinder, 2: toroid/sphere) ?  
36.0 Number of elements in the segment ?  
1.000000E+00 Step ratio (>1 for incr. and <1 for decr) ?  
4.000000E+02 x co-ord. of the end of the segment ?  
4.800000E+01 r co-ord. of the end of the segment ?  
y Is the composition of this segment new (Y/N) ?  
1 Number of layers ?  
y Layer : 1 New properties (Y/N) ?  
7.870000E-03 Density ?  
2.000000E+00 Thickness ?  
2.000000E+05 Youngs Modulus, E11 ?  
2.000000E+05 Youngs Modulus, E22 ?  
2.900000E-01 Poissons ratio (nu12, smaller of the two) ?  
8.000000E+04 Shear Modulus, G12 ?  
4.400000E+02 Ultimate strength in tension, X1T ?  
4.400000E+02 Ultimate strength in compression, X1C ?  
4.400000E+02 Ultimate strength in tension, X2T ?  
4.400000E+02 Ultimate strength in compression, X2C ?  
2.000000E+02 Shear strength, S12 ?  
1.000000E+00 Ultimate strain in tension, E1T ?  
1.000000E+00 Ultimate strain in compression E1C ?  
1.000000E+00 Ultimate strain in tension, E2T ?  
1.000000E+00 Ultimate strain in compression, E2C ?  
1.000000E+00 Ultimate in-plane shear strain, E12 ?  
0.000000E+00 Winding angle ?  
\*\*\*\*\*Segment 1\*\*\*\*\*  
1.000000E+00 Pressure multiplier (at start) ?  
1.000000E+00 Pressure multiplier (at finish) ?  
\*\*\*\*\*Segment 2\*\*\*\*\*  
1.000000E+00 Pressure multiplier (at start) ?  
1.000000E+00 Pressure multiplier (at finish) ?  
\*\*\*\*\*Segment 3\*\*\*\*\*  
1.000000E+00 Pressure multiplier (at start) ?  
1.000000E+00 Pressure multiplier (at finish) ?  
Ring load multipliers at junction 1  
0.000000E+00 Axial load multiplier ?  
0.000000E+00 Circum. load multiplier ?  
0.000000E+00 Radial load multiplier ?  
0.000000E+00 Moment load multiplier ?  
Ring load multipliers at junction 2

0.000000E+00 Axial load multiplier ?  
 0.000000E+00 Circum. load multiplier ?  
 0.000000E+00 Radial load multiplier ?  
 0.000000E+00 Moment load multiplier ?  
     Ring load multipliers at junction 3  
 0.000000E+00 Axial load multiplier ?  
 0.000000E+00 Circum. load multiplier ?  
 0.000000E+00 Radial load multiplier ?  
 0.000000E+00 Moment load multiplier ?  
     Ring load multipliers at junction 4  
 0.000000E+00 Axial load multiplier ?  
 0.000000E+00 Circum. load multiplier ?  
 0.000000E+00 Radial load multiplier ?  
 0.000000E+00 Moment load multiplier ?  
 2      Number of Load/pressure history points ?  
 8.000000E+00 Point 1 load  
     10.0      Increments ?  
 1.000000E+01 Point 2 load  
     10.0      Increments ?  
 0.000000E+00 Rotational speed (rad/s) of the shell about the axis ?  
 y      Are there any constraints at junction 1 ?  
 0      u :( 1 free, 0 constrained) ?  
 0.000000E+00 Prescribed value of u ?  
 0      v :( 1 free, 0 constrained) ?  
 0.000000E+00 Prescribed value of v ?  
 0      w :( 1 free, 0 constrained) ?  
 0.000000E+00 Prescribed value of w ?  
 0      Rotation :( 1 free, 0 constrained) ?  
 0.000000E+00 Prescribed value of Rotation ?  
 n      Are there any constraints at junction 2 ?  
 n      Are there any constraints at junction 3 ?  
 y      Are there any constraints at junction 4 ?  
 0      u :( 1 free, 0 constrained) ?  
 0.000000E+00 Prescribed value of u ?  
 0      v :( 1 free, 0 constrained) ?  
 0.000000E+00 Prescribed value of v ?  
 0      w :( 1 free, 0 constrained) ?  
 0.000000E+00 Prescribed value of w ?  
 0      Rotation :( 1 free, 0 constrained) ?  
 0.000000E+00 Prescribed value of Rotation ?

## B. SAÍDA DE DADOS FORNECIDA PELO SOFTWARE COMPSHELL

A seguir, os dados de saída fornecidos pelo software COMPSHELL, para simulação do tubo desbastado e reparado com Carbono/Epóxi, submetido à pressão de 10MPa, conforme configuração apresentada na seção 3.2.

NODE	X	R	S
1	0.000E+00	4.800E+01	0.000E+00
2	4.167E+00	4.800E+01	4.167E+00
3	8.333E+00	4.800E+01	8.333E+00
4	1.250E+01	4.800E+01	1.250E+01
5	1.667E+01	4.800E+01	1.667E+01
6	2.083E+01	4.800E+01	2.083E+01
7	2.500E+01	4.800E+01	2.500E+01
8	2.917E+01	4.800E+01	2.917E+01
9	3.333E+01	4.800E+01	3.333E+01
10	3.750E+01	4.800E+01	3.750E+01
11	4.167E+01	4.800E+01	4.167E+01
12	4.583E+01	4.800E+01	4.583E+01
13	5.000E+01	4.800E+01	5.000E+01
14	5.417E+01	4.800E+01	5.417E+01
15	5.833E+01	4.800E+01	5.833E+01
16	6.250E+01	4.800E+01	6.250E+01
17	6.667E+01	4.800E+01	6.667E+01
18	7.083E+01	4.800E+01	7.083E+01
19	7.500E+01	4.800E+01	7.500E+01
20	7.917E+01	4.800E+01	7.917E+01
21	8.333E+01	4.800E+01	8.333E+01
22	8.750E+01	4.800E+01	8.750E+01
23	9.167E+01	4.800E+01	9.167E+01
24	9.583E+01	4.800E+01	9.583E+01
25	1.000E+02	4.800E+01	1.000E+02
26	1.042E+02	4.800E+01	1.042E+02
27	1.083E+02	4.800E+01	1.083E+02
28	1.125E+02	4.800E+01	1.125E+02
29	1.167E+02	4.800E+01	1.167E+02
30	1.208E+02	4.800E+01	1.208E+02
31	1.250E+02	4.800E+01	1.250E+02
32	1.292E+02	4.800E+01	1.292E+02
33	1.333E+02	4.800E+01	1.333E+02
34	1.375E+02	4.800E+01	1.375E+02
35	1.417E+02	4.800E+01	1.417E+02
36	1.458E+02	4.800E+01	1.458E+02
37	1.500E+02	4.800E+01	1.500E+02
38	1.521E+02	4.800E+01	1.521E+02
39	1.542E+02	4.800E+01	1.542E+02
40	1.562E+02	4.800E+01	1.562E+02
41	1.583E+02	4.800E+01	1.583E+02
42	1.604E+02	4.800E+01	1.604E+02
43	1.625E+02	4.800E+01	1.625E+02
44	1.646E+02	4.800E+01	1.646E+02
45	1.667E+02	4.800E+01	1.667E+02
46	1.687E+02	4.800E+01	1.687E+02
47	1.708E+02	4.800E+01	1.708E+02
48	1.729E+02	4.800E+01	1.729E+02
49	1.750E+02	4.800E+01	1.750E+02
50	1.771E+02	4.800E+01	1.771E+02

51	1.792E+02	4.800E+01	1.792E+02
52	1.812E+02	4.800E+01	1.812E+02
53	1.833E+02	4.800E+01	1.833E+02
54	1.854E+02	4.800E+01	1.854E+02
55	1.875E+02	4.800E+01	1.875E+02
56	1.896E+02	4.800E+01	1.896E+02
57	1.917E+02	4.800E+01	1.917E+02
58	1.937E+02	4.800E+01	1.937E+02
59	1.958E+02	4.800E+01	1.958E+02
60	1.979E+02	4.800E+01	1.979E+02
61	2.000E+02	4.800E+01	2.000E+02
62	2.021E+02	4.800E+01	2.021E+02
63	2.042E+02	4.800E+01	2.042E+02
64	2.062E+02	4.800E+01	2.062E+02
65	2.083E+02	4.800E+01	2.083E+02
66	2.104E+02	4.800E+01	2.104E+02
67	2.125E+02	4.800E+01	2.125E+02
68	2.146E+02	4.800E+01	2.146E+02
69	2.167E+02	4.800E+01	2.167E+02
70	2.187E+02	4.800E+01	2.187E+02
71	2.208E+02	4.800E+01	2.208E+02
72	2.229E+02	4.800E+01	2.229E+02
73	2.250E+02	4.800E+01	2.250E+02
74	2.271E+02	4.800E+01	2.271E+02
75	2.292E+02	4.800E+01	2.292E+02
76	2.312E+02	4.800E+01	2.312E+02
77	2.333E+02	4.800E+01	2.333E+02
78	2.354E+02	4.800E+01	2.354E+02
79	2.375E+02	4.800E+01	2.375E+02
80	2.396E+02	4.800E+01	2.396E+02
81	2.417E+02	4.800E+01	2.417E+02
82	2.437E+02	4.800E+01	2.437E+02
83	2.458E+02	4.800E+01	2.458E+02
84	2.479E+02	4.800E+01	2.479E+02
85	2.500E+02	4.800E+01	2.500E+02
86	2.542E+02	4.800E+01	2.542E+02
87	2.583E+02	4.800E+01	2.583E+02
88	2.625E+02	4.800E+01	2.625E+02
89	2.667E+02	4.800E+01	2.667E+02
90	2.708E+02	4.800E+01	2.708E+02
91	2.750E+02	4.800E+01	2.750E+02
92	2.792E+02	4.800E+01	2.792E+02
93	2.833E+02	4.800E+01	2.833E+02
94	2.875E+02	4.800E+01	2.875E+02
95	2.917E+02	4.800E+01	2.917E+02
96	2.958E+02	4.800E+01	2.958E+02
97	3.000E+02	4.800E+01	3.000E+02
98	3.042E+02	4.800E+01	3.042E+02
99	3.083E+02	4.800E+01	3.083E+02
100	3.125E+02	4.800E+01	3.125E+02
101	3.167E+02	4.800E+01	3.167E+02
102	3.208E+02	4.800E+01	3.208E+02
103	3.250E+02	4.800E+01	3.250E+02
104	3.292E+02	4.800E+01	3.292E+02
105	3.333E+02	4.800E+01	3.333E+02
106	3.375E+02	4.800E+01	3.375E+02
107	3.417E+02	4.800E+01	3.417E+02

108	3.458E+02	4.800E+01	3.458E+02
109	3.500E+02	4.800E+01	3.500E+02
110	3.542E+02	4.800E+01	3.542E+02
111	3.583E+02	4.800E+01	3.583E+02
112	3.625E+02	4.800E+01	3.625E+02
113	3.667E+02	4.800E+01	3.667E+02
114	3.708E+02	4.800E+01	3.708E+02
115	3.750E+02	4.800E+01	3.750E+02
116	3.792E+02	4.800E+01	3.792E+02
117	3.833E+02	4.800E+01	3.833E+02
118	3.875E+02	4.800E+01	3.875E+02
119	3.917E+02	4.800E+01	3.917E+02
120	3.958E+02	4.800E+01	3.958E+02
121	4.000E+02	4.800E+01	4.000E+02

ELEMENT	LENGTH	ANGLE(1)	RAD1	P1	P2
1	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
2	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
3	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
4	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
5	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
6	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
7	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
8	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
9	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
10	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
11	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
12	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
13	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
14	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
15	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
16	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
17	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
18	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
19	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
20	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
21	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
22	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
23	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
24	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
25	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
26	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
27	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
28	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
29	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
30	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
31	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
32	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
33	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
34	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
35	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
36	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
37	2.083E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
38	2.083E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
39	2.083E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
40	2.083E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00





98	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
99	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
100	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
101	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
102	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
103	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
104	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
105	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
106	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
107	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
108	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
109	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
110	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
111	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
112	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
113	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
114	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
115	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
116	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
117	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
118	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
119	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00
120	4.167E+00	0.000E+00	1.000E+20	1.000E+00	1.000E+00

RING LOAD MULTIPLIERS

JNCTN NODE AXIAL CIRCUM. RADIAL MOMENT

1	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	37	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3	85	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4	121	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Mass of the shell = 1.809E+03

WAVE,N= 0 NEQNS= 357 MBAND= 6 MAXSIZ= 2142

PRES. MULT= 8.000E-01 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 4.560E-03

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.500E+02	0.000E+00
LAYER	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Z	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-2.025E+00	-1.000E+00
SIGMA-1	3.506E+01	3.506E+01	3.506E+01	3.506E+01	3.506E+01	1.347E+01	3.506E+01
SIGMA-2	1.017E+01	1.017E+01	1.017E+01	1.017E+01	1.017E+01	2.243E+01	1.017E+01
SIGMA-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
INDEX	7.969E-02	1.606E-04	5.043E-03	5.043E-03	5.043E-03	4.824E-03	6.885E-03

PRES. MULT= 1.600E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 9.119E-03

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 2.500E+02 0.000E+00  
LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
SIGMA-1 7.011E+01 7.011E+01 7.011E+01 7.011E+01 7.011E+01 2.695E+01 7.011E+01  
SIGMA-2 2.033E+01 2.033E+01 2.033E+01 2.033E+01 2.033E+01 4.486E+01 2.033E+01  
SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
INDEX 1.593E-01 3.211E-04 2.016E-02 2.016E-02 2.016E-02 1.929E-02 2.752E-02

PRES. MULT= 2.400E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 1.368E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.500E+02 0.000E+00  
LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
SIGMA-1 1.051E+02 1.051E+02 1.051E+02 1.051E+02 1.051E+02 4.042E+01 1.051E+02  
SIGMA-2 3.049E+01 3.049E+01 3.049E+01 3.049E+01 3.049E+01 6.728E+01 3.049E+01  
SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
INDEX 2.389E-01 4.815E-04 4.534E-02 4.534E-02 4.534E-02 4.340E-02 6.190E-02

PRES. MULT= 3.200E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 1.823E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.500E+02 0.000E+00  
LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
SIGMA-1 1.401E+02 1.401E+02 1.401E+02 1.401E+02 1.401E+02 5.389E+01 1.401E+02  
SIGMA-2 4.064E+01 4.064E+01 4.064E+01 4.064E+01 4.064E+01 8.970E+01 4.064E+01  
SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
INDEX 3.185E-01 6.418E-04 8.056E-02 8.056E-02 8.056E-02 7.714E-02 1.100E-01

PRES. MULT= 4.000E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 2.279E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 2.500E+02 0.000E+00  
LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
SIGMA-1 1.751E+02 1.751E+02 1.751E+02 1.751E+02 1.751E+02 6.736E+01 1.751E+02  
SIGMA-2 5.079E+01 5.079E+01 5.079E+01 5.079E+01 5.079E+01 1.121E+02 5.079E+01  
SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
INDEX 3.980E-01 8.020E-04 1.258E-01 1.258E-01 1.258E-01 1.205E-01 1.717E-01

PRES. MULT= 4.800E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 2.734E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 2.500E+02 0.000E+00  
LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
SIGMA-1 2.101E+02 2.101E+02 2.101E+02 2.101E+02 2.101E+02 8.083E+01 2.101E+02  
SIGMA-2 6.093E+01 6.093E+01 6.093E+01 6.093E+01 6.093E+01 1.345E+02 6.093E+01

SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
INDEX 4.775E-01 9.622E-04 1.811E-01 1.811E-01 1.811E-01 1.735E-01 2.472E-01

PRES. MULT= 5.600E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 3.190E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.500E+02 0.000E+00  
LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
SIGMA-1 2.451E+02 2.451E+02 2.451E+02 2.451E+02 2.451E+02 9.430E+01 2.451E+02  
SIGMA-2 7.107E+01 7.107E+01 7.107E+01 7.107E+01 7.107E+01 1.569E+02 7.107E+01  
SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
INDEX 5.569E-01 1.122E-03 2.463E-01 2.463E-01 2.463E-01 2.361E-01 3.363E-01

PRES. MULT= 6.400E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 3.645E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 2.500E+02 0.000E+00  
LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
SIGMA-1 2.800E+02 2.800E+02 2.800E+02 2.800E+02 2.800E+02 1.078E+02 2.800E+02  
SIGMA-2 8.120E+01 8.120E+01 8.120E+01 8.120E+01 8.120E+01 1.793E+02 8.120E+01  
SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
INDEX 6.363E-01 1.282E-03 3.215E-01 3.215E-01 3.215E-01 3.084E-01 4.390E-01

PRES. MULT= 7.200E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 4.100E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 2.500E+02 0.000E+00  
LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
SIGMA-1 3.149E+02 3.149E+02 3.149E+02 3.149E+02 3.149E+02 1.212E+02 3.149E+02  
SIGMA-2 9.132E+01 9.132E+01 9.132E+01 9.132E+01 9.132E+01 2.017E+02 9.132E+01  
SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
INDEX 7.157E-01 1.442E-03 4.067E-01 4.067E-01 4.067E-01 3.902E-01 5.553E-01

PRES. MULT= 8.000E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 4.555E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.500E+02 0.000E+00  
LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
SIGMA-1 3.498E+02 3.498E+02 3.498E+02 3.498E+02 3.498E+02 1.347E+02 3.498E+02  
SIGMA-2 1.014E+02 1.014E+02 1.014E+02 1.014E+02 1.014E+02 2.241E+02 1.014E+02  
SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
INDEX 7.950E-01 1.602E-03 5.019E-01 5.019E-01 5.019E-01 4.817E-01 6.851E-01

1 PRESSURE OR LOAD MULTIPLIER= 8.000E+00

STATION U V W BETA N(FI) N(THETA) N(FI,THETA) M(FI) M(THETA) M(FI,THETA)

0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	8.634E+01	2.504E+01	0.000E+00	2.044E+02	5.928E+01	0.000E+00
2.083E+00	4.119E-04	0.000E+00	2.617E-03	2.306E-03	9.440E+01	4.918E+01	0.000E+00	1.178E+02	3.416E+01	0.000E+00
4.167E+00	8.237E-04	0.000E+00	8.746E-03	3.372E-03	1.119E+02	1.053E+02	0.000E+00	3.120E+01	9.047E+00	0.000E+00
4.167E+00	8.237E-04	0.000E+00	8.746E-03	3.372E-03	7.636E+01	9.503E+01	0.000E+00	3.392E+01	9.836E+00	0.000E+00
6.250E+00	1.066E-03	0.000E+00	1.610E-02	3.603E-03	9.612E+01	1.620E+02	0.000E+00	-1.640E+00	-4.755E-01	0.000E+00
8.333E+00	1.308E-03	0.000E+00	2.340E-02	3.325E-03	1.150E+02	2.284E+02	0.000E+00	-3.720E+01	-1.079E+01	0.000E+00
8.333E+00	1.308E-03	0.000E+00	2.340E-02	3.325E-03	8.037E+01	2.183E+02	0.000E+00	-3.446E+01	-9.994E+00	0.000E+00
1.042E+01	1.386E-03	0.000E+00	2.979E-02	2.787E-03	9.649E+01	2.762E+02	0.000E+00	-4.075E+01	-1.182E+01	0.000E+00
1.250E+01	1.463E-03	0.000E+00	3.495E-02	2.158E-03	1.094E+02	3.230E+02	0.000E+00	-4.704E+01	-1.364E+01	0.000E+00
1.250E+01	1.463E-03	0.000E+00	3.495E-02	2.158E-03	8.679E+01	3.164E+02	0.000E+00	-4.526E+01	-1.312E+01	0.000E+00
1.458E+01	1.432E-03	0.000E+00	3.880E-02	1.551E-03	9.645E+01	3.513E+02	0.000E+00	-3.964E+01	-1.150E+01	0.000E+00
1.667E+01	1.401E-03	0.000E+00	4.147E-02	1.024E-03	1.032E+02	3.755E+02	0.000E+00	-3.403E+01	-9.868E+00	0.000E+00
1.667E+01	1.401E-03	0.000E+00	4.147E-02	1.024E-03	9.201E+01	3.723E+02	0.000E+00	-3.318E+01	-9.622E+00	0.000E+00
1.875E+01	1.317E-03	0.000E+00	4.315E-02	6.036E-04	9.629E+01	3.875E+02	0.000E+00	-2.555E+01	-7.410E+00	0.000E+00
2.083E+01	1.233E-03	0.000E+00	4.406E-02	2.925E-04	9.864E+01	3.958E+02	0.000E+00	-1.793E+01	-5.198E+00	0.000E+00
2.083E+01	1.233E-03	0.000E+00	4.406E-02	2.925E-04	9.515E+01	3.948E+02	0.000E+00	-1.768E+01	-5.128E+00	0.000E+00
2.292E+01	1.132E-03	0.000E+00	4.444E-02	7.991E-05	9.612E+01	3.982E+02	0.000E+00	-1.203E+01	-3.488E+00	0.000E+00
2.500E+01	1.032E-03	0.000E+00	4.445E-02	-5.173E-05	9.616E+01	3.983E+02	0.000E+00	-6.371E+00	-1.848E+00	0.000E+00
2.500E+01	1.032E-03	0.000E+00	4.445E-02	-5.173E-05	9.650E+01	3.984E+02	0.000E+00	-6.412E+00	-1.860E+00	0.000E+00
2.708E+01	9.324E-04	0.000E+00	4.426E-02	-1.217E-04	9.601E+01	3.967E+02	0.000E+00	-3.370E+00	-9.773E-01	0.000E+00
2.917E+01	8.332E-04	0.000E+00	4.397E-02	-1.482E-04	9.525E+01	3.941E+02	0.000E+00	-3.277E-01	-9.504E-02	0.000E+00
2.917E+01	8.332E-04	0.000E+00	4.397E-02	-1.482E-04	9.677E+01	3.945E+02	0.000E+00	-4.486E-01	-1.301E-01	0.000E+00
3.125E+01	7.414E-04	0.000E+00	4.366E-02	-1.466E-04	9.596E+01	3.917E+02	0.000E+00	6.725E-01	1.950E-01	0.000E+00
3.333E+01	6.495E-04	0.000E+00	4.337E-02	-1.289E-04	9.519E+01	3.891E+02	0.000E+00	1.794E+00	5.201E-01	0.000E+00
3.333E+01	6.495E-04	0.000E+00	4.337E-02	-1.289E-04	9.658E+01	3.895E+02	0.000E+00	1.688E+00	4.896E-01	0.000E+00
3.542E+01	5.643E-04	0.000E+00	4.313E-02	-1.041E-04	9.594E+01	3.873E+02	0.000E+00	1.783E+00	5.170E-01	0.000E+00
3.750E+01	4.790E-04	0.000E+00	4.294E-02	-7.792E-05	9.544E+01	3.855E+02	0.000E+00	1.877E+00	5.444E-01	0.000E+00
3.750E+01	4.790E-04	0.000E+00	4.294E-02	-7.792E-05	9.631E+01	3.858E+02	0.000E+00	1.814E+00	5.259E-01	0.000E+00
3.958E+01	3.979E-04	0.000E+00	4.280E-02	-5.396E-05	9.594E+01	3.845E+02	0.000E+00	1.535E+00	4.450E-01	0.000E+00
4.167E+01	3.168E-04	0.000E+00	4.271E-02	-3.399E-05	9.570E+01	3.837E+02	0.000E+00	1.256E+00	3.641E-01	0.000E+00
4.167E+01	3.168E-04	0.000E+00	4.271E-02	-3.399E-05	9.610E+01	3.838E+02	0.000E+00	1.228E+00	3.560E-01	0.000E+00
4.375E+01	2.376E-04	0.000E+00	4.266E-02	-1.862E-05	9.595E+01	3.833E+02	0.000E+00	9.209E-01	2.671E-01	0.000E+00
4.583E+01	1.584E-04	0.000E+00	4.263E-02	-7.635E-06	9.588E+01	3.831E+02	0.000E+00	6.143E-01	1.781E-01	0.000E+00
4.583E+01	1.584E-04	0.000E+00	4.263E-02	-7.635E-06	9.598E+01	3.831E+02	0.000E+00	6.079E-01	1.763E-01	0.000E+00
4.792E+01	7.963E-05	0.000E+00	4.263E-02	-4.355E-07	9.596E+01	3.830E+02	0.000E+00	3.983E-01	1.155E-01	0.000E+00
5.000E+01	8.705E-07	0.000E+00	4.263E-02	3.765E-06	9.597E+01	3.831E+02	0.000E+00	1.887E-01	5.471E-02	0.000E+00
5.000E+01	8.705E-07	0.000E+00	4.263E-02	3.765E-06	9.594E+01	3.831E+02	0.000E+00	1.915E-01	5.554E-02	0.000E+00
5.208E+01	-7.805E-05	0.000E+00	4.264E-02	5.755E-06	9.596E+01	3.832E+02	0.000E+00	8.671E-02	2.515E-02	0.000E+00
5.417E+01	-1.570E-04	0.000E+00	4.265E-02	6.247E-06	9.600E+01	3.833E+02	0.000E+00	-1.815E-02	-5.263E-03	0.000E+00
5.417E+01	-1.570E-04	0.000E+00	4.265E-02	6.247E-06	9.593E+01	3.833E+02	0.000E+00	-1.301E-02	-3.774E-03	0.000E+00
5.625E+01	-2.362E-04	0.000E+00	4.266E-02	5.817E-06	9.597E+01	3.834E+02	0.000E+00	-4.689E-02	-1.360E-02	0.000E+00
5.833E+01	-3.154E-04	0.000E+00	4.268E-02	4.905E-06	9.600E+01	3.835E+02	0.000E+00	-8.068E-02	-2.340E-02	0.000E+00
5.833E+01	-3.154E-04	0.000E+00	4.268E-02	4.905E-06	9.594E+01	3.835E+02	0.000E+00	-7.677E-02	-2.226E-02	0.000E+00
6.042E+01	-3.949E-04	0.000E+00	4.269E-02	3.818E-06	9.597E+01	3.835E+02	0.000E+00	-7.511E-02	-2.178E-02	0.000E+00
6.250E+01	-4.744E-04	0.000E+00	4.269E-02	2.755E-06	9.598E+01	3.836E+02	0.000E+00	-7.347E-02	-2.131E-02	0.000E+00
6.250E+01	-4.744E-04	0.000E+00	4.269E-02	2.755E-06	9.595E+01	3.836E+02	0.000E+00	-7.130E-02	-2.068E-02	0.000E+00
6.458E+01	-5.540E-04	0.000E+00	4.270E-02	1.826E-06	9.597E+01	3.836E+02	0.000E+00	-5.851E-02	-1.697E-02	0.000E+00
6.667E+01	-6.337E-04	0.000E+00	4.270E-02	1.080E-06	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-4.572E-02	-1.326E-02	0.000E+00
6.667E+01	-6.337E-04	0.000E+00	4.270E-02	1.080E-06	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	-4.485E-02	-1.301E-02	0.000E+00
6.875E+01	-7.134E-04	0.000E+00	4.270E-02	5.268E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-3.256E-02	-9.442E-03	0.000E+00
7.083E+01	-7.930E-04	0.000E+00	4.270E-02	1.486E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-2.029E-02	-5.883E-03	0.000E+00
7.083E+01	-7.930E-04	0.000E+00	4.270E-02	1.486E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	-2.010E-02	-5.830E-03	0.000E+00
7.292E+01	-8.727E-04	0.000E+00	4.270E-02	-8.154E-08	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-1.199E-02	-3.477E-03	0.000E+00
7.500E+01	-9.524E-04	0.000E+00	4.270E-02	-1.946E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	-3.795E-03	-1.101E-03	0.000E+00
7.500E+01	-9.524E-04	0.000E+00	4.270E-02	-1.946E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-3.996E-03	-1.159E-03	0.000E+00
7.708E+01	-1.032E-03	0.000E+00	4.270E-02	-2.216E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	3.350E-04	9.715E-05	0.000E+00
7.917E+01	-1.112E-03	0.000E+00	4.270E-02	-1.850E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	4.764E-03	1.382E-03	0.000E+00

7.917E+01	-1.112E-03	0.000E+00	4.270E-02	-1.850E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	4.578E-03	1.328E-03	0.000E+00
8.125E+01	-1.192E-03	0.000E+00	4.270E-02	-1.066E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	6.357E-03	1.844E-03	0.000E+00
8.333E+01	-1.271E-03	0.000E+00	4.270E-02	-3.020E-09	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	8.226E-03	2.386E-03	0.000E+00
8.333E+01	-1.271E-03	0.000E+00	4.270E-02	-3.020E-09	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	8.321E-03	2.413E-03	0.000E+00
8.542E+01	-1.351E-03	0.000E+00	4.270E-02	1.141E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	8.064E-03	2.339E-03	0.000E+00
8.750E+01	-1.431E-03	0.000E+00	4.270E-02	2.278E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	7.732E-03	2.242E-03	0.000E+00
8.750E+01	-1.431E-03	0.000E+00	4.270E-02	2.278E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	8.057E-03	2.337E-03	0.000E+00
8.958E+01	-1.510E-03	0.000E+00	4.270E-02	3.245E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	5.428E-03	1.574E-03	0.000E+00
9.167E+01	-1.590E-03	0.000E+00	4.270E-02	3.832E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	2.719E-03	7.885E-04	0.000E+00
9.167E+01	-1.590E-03	0.000E+00	4.270E-02	3.832E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	3.021E-03	8.760E-04	0.000E+00
9.375E+01	-1.670E-03	0.000E+00	4.270E-02	3.743E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	-4.289E-03	-1.244E-03	0.000E+00
9.583E+01	-1.749E-03	0.000E+00	4.270E-02	2.604E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-1.167E-02	-3.384E-03	0.000E+00
9.583E+01	-1.749E-03	0.000E+00	4.270E-02	2.604E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	-1.141E-02	-3.310E-03	0.000E+00
9.792E+01	-1.829E-03	0.000E+00	4.270E-02	-4.565E-09	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-2.546E-02	-7.384E-03	0.000E+00
1.000E+02	-1.909E-03	0.000E+00	4.270E-02	-4.684E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	-3.948E-02	-1.145E-02	0.000E+00
1.000E+02	-1.909E-03	0.000E+00	4.270E-02	-4.684E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-3.973E-02	-1.152E-02	0.000E+00
1.021E+02	-1.989E-03	0.000E+00	4.270E-02	-1.185E-06	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-6.041E-02	-1.752E-02	0.000E+00
1.042E+02	-2.068E-03	0.000E+00	4.270E-02	-2.198E-06	9.596E+01	3.836E+02	0.000E+00	-8.101E-02	-2.349E-02	0.000E+00
1.042E+02	-2.068E-03	0.000E+00	4.270E-02	-2.198E-06	9.598E+01	3.837E+02	0.000E+00	-8.264E-02	-2.396E-02	0.000E+00
1.062E+02	-2.148E-03	0.000E+00	4.269E-02	-3.516E-06	9.597E+01	3.836E+02	0.000E+00	-1.016E-01	-2.946E-02	0.000E+00
1.083E+02	-2.227E-03	0.000E+00	4.268E-02	-5.105E-06	9.594E+01	3.835E+02	0.000E+00	-1.206E-01	-3.498E-02	0.000E+00
1.083E+02	-2.227E-03	0.000E+00	4.268E-02	-5.105E-06	9.600E+01	3.835E+02	0.000E+00	-1.248E-01	-3.620E-02	0.000E+00
1.104E+02	-2.307E-03	0.000E+00	4.267E-02	-6.853E-06	9.597E+01	3.834E+02	0.000E+00	-1.195E-01	-3.465E-02	0.000E+00
1.125E+02	-2.386E-03	0.000E+00	4.266E-02	-8.525E-06	9.592E+01	3.833E+02	0.000E+00	-1.141E-01	-3.310E-02	0.000E+00
1.125E+02	-2.386E-03	0.000E+00	4.266E-02	-8.525E-06	9.602E+01	3.833E+02	0.000E+00	-1.212E-01	-3.514E-02	0.000E+00
1.146E+02	-2.465E-03	0.000E+00	4.264E-02	-9.743E-06	9.597E+01	3.831E+02	0.000E+00	-4.896E-02	-1.420E-02	0.000E+00
1.167E+02	-2.544E-03	0.000E+00	4.262E-02	-9.926E-06	9.591E+01	3.829E+02	0.000E+00	2.317E-02	6.718E-03	0.000E+00
1.167E+02	-2.544E-03	0.000E+00	4.262E-02	-9.926E-06	9.601E+01	3.830E+02	0.000E+00	1.522E-02	4.413E-03	0.000E+00
1.187E+02	-2.622E-03	0.000E+00	4.260E-02	-8.284E-06	9.596E+01	3.828E+02	0.000E+00	2.143E-01	6.214E-02	0.000E+00
1.208E+02	-2.700E-03	0.000E+00	4.258E-02	-3.794E-06	9.593E+01	3.827E+02	0.000E+00	4.133E-01	1.199E-01	0.000E+00
1.208E+02	-2.700E-03	0.000E+00	4.258E-02	-3.794E-06	9.595E+01	3.827E+02	0.000E+00	4.101E-01	1.189E-01	0.000E+00
1.229E+02	-2.779E-03	0.000E+00	4.258E-02	4.743E-06	9.595E+01	3.827E+02	0.000E+00	7.830E-01	2.271E-01	0.000E+00
1.250E+02	-2.857E-03	0.000E+00	4.261E-02	1.862E-05	9.602E+01	3.829E+02	0.000E+00	1.156E+00	3.352E-01	0.000E+00
1.250E+02	-2.857E-03	0.000E+00	4.261E-02	1.862E-05	9.579E+01	3.828E+02	0.000E+00	1.171E+00	3.397E-01	0.000E+00
1.271E+02	-2.936E-03	0.000E+00	4.267E-02	3.902E-05	9.594E+01	3.834E+02	0.000E+00	1.679E+00	4.870E-01	0.000E+00
1.292E+02	-3.016E-03	0.000E+00	4.277E-02	6.668E-05	9.623E+01	3.844E+02	0.000E+00	2.187E+00	6.343E-01	0.000E+00
1.292E+02	-3.016E-03	0.000E+00	4.277E-02	6.668E-05	9.547E+01	3.841E+02	0.000E+00	2.242E+00	6.502E-01	0.000E+00
1.312E+02	-3.099E-03	0.000E+00	4.295E-02	1.015E-04	9.593E+01	3.857E+02	0.000E+00	2.627E+00	7.619E-01	0.000E+00
1.333E+02	-3.182E-03	0.000E+00	4.320E-02	1.419E-04	9.660E+01	3.880E+02	0.000E+00	3.012E+00	8.736E-01	0.000E+00
1.333E+02	-3.182E-03	0.000E+00	4.320E-02	1.419E-04	9.503E+01	3.876E+02	0.000E+00	3.129E+00	9.073E-01	0.000E+00
1.354E+02	-3.272E-03	0.000E+00	4.354E-02	1.839E-04	9.593E+01	3.907E+02	0.000E+00	2.743E+00	7.956E-01	0.000E+00
1.375E+02	-3.363E-03	0.000E+00	4.396E-02	2.204E-04	9.705E+01	3.945E+02	0.000E+00	2.358E+00	6.838E-01	0.000E+00
1.375E+02	-3.363E-03	0.000E+00	4.396E-02	2.204E-04	9.468E+01	3.938E+02	0.000E+00	2.538E+00	7.360E-01	0.000E+00
1.396E+02	-3.464E-03	0.000E+00	4.445E-02	2.402E-04	9.596E+01	3.982E+02	0.000E+00	2.347E-01	6.806E-02	0.000E+00
1.417E+02	-3.566E-03	0.000E+00	4.494E-02	2.271E-04	9.726E+01	4.027E+02	0.000E+00	-2.069E+00	-5.999E-01	0.000E+00
1.417E+02	-3.566E-03	0.000E+00	4.494E-02	2.271E-04	9.497E+01	4.021E+02	0.000E+00	-1.884E+00	-5.463E-01	0.000E+00
1.437E+02	-3.679E-03	0.000E+00	4.536E-02	1.595E-04	9.606E+01	4.058E+02	0.000E+00	-7.561E+00	-2.193E+00	0.000E+00
1.458E+02	-3.791E-03	0.000E+00	4.555E-02	1.072E-05	9.656E+01	4.076E+02	0.000E+00	-1.324E+01	-3.839E+00	0.000E+00
1.458E+02	-3.791E-03	0.000E+00	4.555E-02	1.072E-05	9.684E+01	4.077E+02	0.000E+00	-1.323E+01	-3.837E+00	0.000E+00
1.479E+02	-3.903E-03	0.000E+00	4.533E-02	-2.496E-04	9.626E+01	4.056E+02	0.000E+00	-2.315E+01	-6.713E+00	0.000E+00
1.500E+02	-4.014E-03	0.000E+00	4.441E-02	-6.518E-04	9.392E+01	3.973E+02	0.000E+00	-3.306E+01	-9.588E+00	0.000E+00
1.500E+02	-4.014E-03	0.000E+00	4.441E-02	-6.518E-04	9.470E+01	3.856E+02	0.000E+00	-3.379E+01	-2.095E+02	0.000E+00
1.510E+02	-3.883E-03	0.000E+00	4.379E-02	-5.422E-04	9.594E+01	3.810E+02	0.000E+00	-3.950E+01	-2.081E+02	0.000E+00
1.521E+02	-3.753E-03	0.000E+00	4.328E-02	-4.424E-04	9.734E+01	3.775E+02	0.000E+00	-4.543E+01	-2.071E+02	0.000E+00
1.521E+02	-3.753E-03	0.000E+00	4.328E-02	-4.424E-04	9.460E+01	3.771E+02	0.000E+00	-4.546E+01	-2.068E+02	0.000E+00

1.531E+02	-3.630E-03	0.000E+00	4.286E-02	-3.547E-04	9.594E+01	3.743E+02	0.000E+00	-5.090E+01	-2.062E+02	0.000E+00
1.542E+02	-3.508E-03	0.000E+00	4.254E-02	-2.760E-04	9.743E+01	3.722E+02	0.000E+00	-5.651E+01	-2.060E+02	0.000E+00
1.542E+02	-3.508E-03	0.000E+00	4.254E-02	-2.760E-04	9.461E+01	3.718E+02	0.000E+00	-5.653E+01	-2.056E+02	0.000E+00
1.552E+02	-3.394E-03	0.000E+00	4.228E-02	-2.083E-04	9.595E+01	3.703E+02	0.000E+00	-6.145E+01	-2.056E+02	0.000E+00
1.562E+02	-3.280E-03	0.000E+00	4.210E-02	-1.483E-04	9.739E+01	3.694E+02	0.000E+00	-6.650E+01	-2.059E+02	0.000E+00
1.562E+02	-3.280E-03	0.000E+00	4.210E-02	-1.483E-04	9.470E+01	3.691E+02	0.000E+00	-6.650E+01	-2.056E+02	0.000E+00
1.573E+02	-3.174E-03	0.000E+00	4.197E-02	-9.801E-05	9.595E+01	3.685E+02	0.000E+00	-7.079E+01	-2.060E+02	0.000E+00
1.583E+02	-3.068E-03	0.000E+00	4.189E-02	-5.419E-05	9.728E+01	3.684E+02	0.000E+00	-7.517E+01	-2.066E+02	0.000E+00
1.583E+02	-3.068E-03	0.000E+00	4.189E-02	-5.419E-05	9.484E+01	3.681E+02	0.000E+00	-7.516E+01	-2.063E+02	0.000E+00
1.594E+02	-2.970E-03	0.000E+00	4.186E-02	-1.856E-05	9.596E+01	3.682E+02	0.000E+00	-7.876E+01	-2.070E+02	0.000E+00
1.604E+02	-2.871E-03	0.000E+00	4.185E-02	1.184E-05	9.712E+01	3.686E+02	0.000E+00	-8.242E+01	-2.078E+02	0.000E+00
1.604E+02	-2.871E-03	0.000E+00	4.185E-02	1.184E-05	9.500E+01	3.684E+02	0.000E+00	-8.240E+01	-2.075E+02	0.000E+00
1.615E+02	-2.780E-03	0.000E+00	4.188E-02	3.553E-05	9.596E+01	3.690E+02	0.000E+00	-8.533E+01	-2.083E+02	0.000E+00
1.625E+02	-2.688E-03	0.000E+00	4.193E-02	5.513E-05	9.695E+01	3.697E+02	0.000E+00	-8.829E+01	-2.092E+02	0.000E+00
1.625E+02	-2.688E-03	0.000E+00	4.193E-02	5.513E-05	9.517E+01	3.695E+02	0.000E+00	-8.827E+01	-2.090E+02	0.000E+00
1.635E+02	-2.601E-03	0.000E+00	4.199E-02	6.944E-05	9.596E+01	3.703E+02	0.000E+00	-9.057E+01	-2.098E+02	0.000E+00
1.646E+02	-2.514E-03	0.000E+00	4.207E-02	8.066E-05	9.677E+01	3.713E+02	0.000E+00	-9.288E+01	-2.106E+02	0.000E+00
1.646E+02	-2.514E-03	0.000E+00	4.207E-02	8.066E-05	9.533E+01	3.711E+02	0.000E+00	-9.286E+01	-2.105E+02	0.000E+00
1.656E+02	-2.432E-03	0.000E+00	4.216E-02	8.784E-05	9.596E+01	3.721E+02	0.000E+00	-9.460E+01	-2.112E+02	0.000E+00
1.667E+02	-2.350E-03	0.000E+00	4.225E-02	9.279E-05	9.661E+01	3.731E+02	0.000E+00	-9.634E+01	-2.120E+02	0.000E+00
1.667E+02	-2.350E-03	0.000E+00	4.225E-02	9.279E-05	9.547E+01	3.729E+02	0.000E+00	-9.633E+01	-2.119E+02	0.000E+00
1.677E+02	-2.271E-03	0.000E+00	4.235E-02	9.480E-05	9.596E+01	3.739E+02	0.000E+00	-9.758E+01	-2.126E+02	0.000E+00
1.687E+02	-2.193E-03	0.000E+00	4.245E-02	9.528E-05	9.646E+01	3.749E+02	0.000E+00	-9.884E+01	-2.133E+02	0.000E+00
1.687E+02	-2.193E-03	0.000E+00	4.245E-02	9.528E-05	9.560E+01	3.748E+02	0.000E+00	-9.882E+01	-2.132E+02	0.000E+00
1.698E+02	-2.116E-03	0.000E+00	4.255E-02	9.372E-05	9.597E+01	3.757E+02	0.000E+00	-9.968E+01	-2.139E+02	0.000E+00
1.708E+02	-2.040E-03	0.000E+00	4.264E-02	9.119E-05	9.633E+01	3.767E+02	0.000E+00	-1.005E+02	-2.145E+02	0.000E+00
1.708E+02	-2.040E-03	0.000E+00	4.264E-02	9.119E-05	9.571E+01	3.766E+02	0.000E+00	-1.005E+02	-2.144E+02	0.000E+00
1.719E+02	-1.966E-03	0.000E+00	4.274E-02	8.735E-05	9.597E+01	3.774E+02	0.000E+00	-1.011E+02	-2.149E+02	0.000E+00
1.729E+02	-1.892E-03	0.000E+00	4.282E-02	8.299E-05	9.622E+01	3.783E+02	0.000E+00	-1.016E+02	-2.155E+02	0.000E+00
1.729E+02	-1.892E-03	0.000E+00	4.282E-02	8.299E-05	9.579E+01	3.782E+02	0.000E+00	-1.016E+02	-2.154E+02	0.000E+00
1.740E+02	-1.819E-03	0.000E+00	4.291E-02	7.788E-05	9.597E+01	3.790E+02	0.000E+00	-1.019E+02	-2.158E+02	0.000E+00
1.750E+02	-1.746E-03	0.000E+00	4.299E-02	7.257E-05	9.613E+01	3.797E+02	0.000E+00	-1.022E+02	-2.163E+02	0.000E+00
1.750E+02	-1.746E-03	0.000E+00	4.299E-02	7.257E-05	9.586E+01	3.796E+02	0.000E+00	-1.022E+02	-2.162E+02	0.000E+00
1.760E+02	-1.673E-03	0.000E+00	4.306E-02	6.693E-05	9.597E+01	3.802E+02	0.000E+00	-1.023E+02	-2.166E+02	0.000E+00
1.771E+02	-1.601E-03	0.000E+00	4.313E-02	6.132E-05	9.606E+01	3.808E+02	0.000E+00	-1.024E+02	-2.169E+02	0.000E+00
1.771E+02	-1.601E-03	0.000E+00	4.313E-02	6.132E-05	9.591E+01	3.808E+02	0.000E+00	-1.024E+02	-2.169E+02	0.000E+00
1.781E+02	-1.529E-03	0.000E+00	4.319E-02	5.568E-05	9.597E+01	3.813E+02	0.000E+00	-1.024E+02	-2.171E+02	0.000E+00
1.792E+02	-1.458E-03	0.000E+00	4.324E-02	5.022E-05	9.601E+01	3.818E+02	0.000E+00	-1.024E+02	-2.174E+02	0.000E+00
1.792E+02	-1.458E-03	0.000E+00	4.324E-02	5.022E-05	9.595E+01	3.818E+02	0.000E+00	-1.023E+02	-2.174E+02	0.000E+00
1.802E+02	-1.386E-03	0.000E+00	4.329E-02	4.494E-05	9.597E+01	3.822E+02	0.000E+00	-1.023E+02	-2.176E+02	0.000E+00
1.812E+02	-1.314E-03	0.000E+00	4.334E-02	3.993E-05	9.597E+01	3.825E+02	0.000E+00	-1.022E+02	-2.177E+02	0.000E+00
1.812E+02	-1.314E-03	0.000E+00	4.334E-02	3.993E-05	9.598E+01	3.825E+02	0.000E+00	-1.021E+02	-2.177E+02	0.000E+00
1.823E+02	-1.243E-03	0.000E+00	4.338E-02	3.523E-05	9.597E+01	3.829E+02	0.000E+00	-1.020E+02	-2.179E+02	0.000E+00
1.833E+02	-1.171E-03	0.000E+00	4.341E-02	3.083E-05	9.595E+01	3.831E+02	0.000E+00	-1.018E+02	-2.180E+02	0.000E+00
1.833E+02	-1.171E-03	0.000E+00	4.341E-02	3.083E-05	9.599E+01	3.831E+02	0.000E+00	-1.018E+02	-2.180E+02	0.000E+00
1.844E+02	-1.099E-03	0.000E+00	4.344E-02	2.681E-05	9.597E+01	3.834E+02	0.000E+00	-1.017E+02	-2.181E+02	0.000E+00
1.854E+02	-1.028E-03	0.000E+00	4.347E-02	2.310E-05	9.593E+01	3.836E+02	0.000E+00	-1.015E+02	-2.182E+02	0.000E+00
1.854E+02	-1.028E-03	0.000E+00	4.347E-02	2.310E-05	9.600E+01	3.836E+02	0.000E+00	-1.015E+02	-2.182E+02	0.000E+00
1.865E+02	-9.556E-04	0.000E+00	4.349E-02	1.979E-05	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-1.013E+02	-2.182E+02	0.000E+00
1.875E+02	-8.836E-04	0.000E+00	4.351E-02	1.677E-05	9.593E+01	3.839E+02	0.000E+00	-1.011E+02	-2.183E+02	0.000E+00
1.875E+02	-8.836E-04	0.000E+00	4.351E-02	1.677E-05	9.600E+01	3.839E+02	0.000E+00	-1.011E+02	-2.183E+02	0.000E+00
1.885E+02	-8.114E-04	0.000E+00	4.352E-02	1.413E-05	9.597E+01	3.840E+02	0.000E+00	-1.010E+02	-2.183E+02	0.000E+00
1.896E+02	-7.392E-04	0.000E+00	4.354E-02	1.176E-05	9.593E+01	3.841E+02	0.000E+00	-1.008E+02	-2.184E+02	0.000E+00
1.896E+02	-7.392E-04	0.000E+00	4.354E-02	1.176E-05	9.600E+01	3.841E+02	0.000E+00	-1.008E+02	-2.184E+02	0.000E+00
1.906E+02	-6.668E-04	0.000E+00	4.355E-02	9.724E-06	9.597E+01	3.842E+02	0.000E+00	-1.007E+02	-2.184E+02	0.000E+00
1.917E+02	-5.944E-04	0.000E+00	4.356E-02	7.923E-06	9.593E+01	3.842E+02	0.000E+00	-1.005E+02	-2.184E+02	0.000E+00
1.917E+02	-5.944E-04	0.000E+00	4.356E-02	7.923E-06	9.599E+01	3.843E+02	0.000E+00	-1.005E+02	-2.184E+02	0.000E+00

1.927E+02	-5.217E-04	0.000E+00	4.356E-02	6.400E-06	9.597E+01	3.843E+02	0.000E+00	-1.004E+02	-2.184E+02	0.000E+00
1.937E+02	-4.491E-04	0.000E+00	4.357E-02	5.064E-06	9.593E+01	3.843E+02	0.000E+00	-1.003E+02	-2.184E+02	0.000E+00
1.937E+02	-4.491E-04	0.000E+00	4.357E-02	5.064E-06	9.599E+01	3.843E+02	0.000E+00	-1.003E+02	-2.184E+02	0.000E+00
1.948E+02	-3.762E-04	0.000E+00	4.357E-02	3.941E-06	9.597E+01	3.844E+02	0.000E+00	-1.002E+02	-2.184E+02	0.000E+00
1.958E+02	-3.034E-04	0.000E+00	4.358E-02	2.953E-06	9.594E+01	3.844E+02	0.000E+00	-1.001E+02	-2.184E+02	0.000E+00
1.958E+02	-3.034E-04	0.000E+00	4.358E-02	2.953E-06	9.598E+01	3.844E+02	0.000E+00	-1.001E+02	-2.184E+02	0.000E+00
1.969E+02	-2.305E-04	0.000E+00	4.358E-02	2.112E-06	9.597E+01	3.844E+02	0.000E+00	-1.001E+02	-2.184E+02	0.000E+00
1.979E+02	-1.576E-04	0.000E+00	4.358E-02	1.349E-06	9.595E+01	3.844E+02	0.000E+00	-1.000E+02	-2.184E+02	0.000E+00
1.979E+02	-1.576E-04	0.000E+00	4.358E-02	1.349E-06	9.597E+01	3.844E+02	0.000E+00	-1.000E+02	-2.184E+02	0.000E+00
1.990E+02	-8.458E-05	0.000E+00	4.358E-02	6.607E-07	9.597E+01	3.844E+02	0.000E+00	-9.999E+01	-2.184E+02	0.000E+00
2.000E+02	-1.159E-05	0.000E+00	4.358E-02	-4.949E-10	9.596E+01	3.844E+02	0.000E+00	-9.997E+01	-2.184E+02	0.000E+00
2.000E+02	-1.159E-05	0.000E+00	4.358E-02	-4.949E-10	9.596E+01	3.844E+02	0.000E+00	-9.997E+01	-2.184E+02	0.000E+00
2.010E+02	6.140E-05	0.000E+00	4.358E-02	-6.591E-07	9.597E+01	3.844E+02	0.000E+00	-9.999E+01	-2.184E+02	0.000E+00
2.021E+02	1.344E-04	0.000E+00	4.358E-02	-1.350E-06	9.597E+01	3.844E+02	0.000E+00	-1.000E+02	-2.184E+02	0.000E+00
2.021E+02	1.344E-04	0.000E+00	4.358E-02	-1.350E-06	9.595E+01	3.844E+02	0.000E+00	-1.000E+02	-2.184E+02	0.000E+00
2.031E+02	2.073E-04	0.000E+00	4.358E-02	-2.110E-06	9.597E+01	3.844E+02	0.000E+00	-1.001E+02	-2.184E+02	0.000E+00
2.042E+02	2.803E-04	0.000E+00	4.358E-02	-2.954E-06	9.598E+01	3.844E+02	0.000E+00	-1.001E+02	-2.184E+02	0.000E+00
2.042E+02	2.803E-04	0.000E+00	4.358E-02	-2.954E-06	9.594E+01	3.844E+02	0.000E+00	-1.001E+02	-2.184E+02	0.000E+00
2.052E+02	3.531E-04	0.000E+00	4.357E-02	-3.941E-06	9.597E+01	3.844E+02	0.000E+00	-1.002E+02	-2.184E+02	0.000E+00
2.062E+02	4.259E-04	0.000E+00	4.357E-02	-5.064E-06	9.599E+01	3.843E+02	0.000E+00	-1.003E+02	-2.184E+02	0.000E+00
2.062E+02	4.259E-04	0.000E+00	4.357E-02	-5.064E-06	9.593E+01	3.843E+02	0.000E+00	-1.003E+02	-2.184E+02	0.000E+00
2.073E+02	4.985E-04	0.000E+00	4.356E-02	-6.397E-06	9.597E+01	3.843E+02	0.000E+00	-1.004E+02	-2.184E+02	0.000E+00
2.083E+02	5.712E-04	0.000E+00	4.356E-02	-7.924E-06	9.600E+01	3.843E+02	0.000E+00	-1.005E+02	-2.184E+02	0.000E+00
2.083E+02	5.712E-04	0.000E+00	4.356E-02	-7.924E-06	9.593E+01	3.842E+02	0.000E+00	-1.005E+02	-2.184E+02	0.000E+00
2.094E+02	6.436E-04	0.000E+00	4.355E-02	-9.728E-06	9.597E+01	3.842E+02	0.000E+00	-1.007E+02	-2.184E+02	0.000E+00
2.104E+02	7.160E-04	0.000E+00	4.354E-02	-1.176E-05	9.600E+01	3.841E+02	0.000E+00	-1.008E+02	-2.184E+02	0.000E+00
2.104E+02	7.160E-04	0.000E+00	4.354E-02	-1.176E-05	9.592E+01	3.841E+02	0.000E+00	-1.008E+02	-2.184E+02	0.000E+00
2.115E+02	7.882E-04	0.000E+00	4.352E-02	-1.413E-05	9.597E+01	3.840E+02	0.000E+00	-1.010E+02	-2.183E+02	0.000E+00
2.125E+02	8.604E-04	0.000E+00	4.351E-02	-1.677E-05	9.600E+01	3.839E+02	0.000E+00	-1.011E+02	-2.183E+02	0.000E+00
2.125E+02	8.604E-04	0.000E+00	4.351E-02	-1.677E-05	9.593E+01	3.839E+02	0.000E+00	-1.011E+02	-2.183E+02	0.000E+00
2.135E+02	9.324E-04	0.000E+00	4.349E-02	-1.979E-05	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-1.013E+02	-2.182E+02	0.000E+00
2.146E+02	1.004E-03	0.000E+00	4.347E-02	-2.310E-05	9.600E+01	3.836E+02	0.000E+00	-1.015E+02	-2.182E+02	0.000E+00
2.146E+02	1.004E-03	0.000E+00	4.347E-02	-2.310E-05	9.593E+01	3.836E+02	0.000E+00	-1.015E+02	-2.182E+02	0.000E+00
2.156E+02	1.076E-03	0.000E+00	4.344E-02	-2.681E-05	9.597E+01	3.834E+02	0.000E+00	-1.017E+02	-2.181E+02	0.000E+00
2.167E+02	1.148E-03	0.000E+00	4.341E-02	-3.083E-05	9.599E+01	3.831E+02	0.000E+00	-1.018E+02	-2.180E+02	0.000E+00
2.167E+02	1.148E-03	0.000E+00	4.341E-02	-3.083E-05	9.595E+01	3.831E+02	0.000E+00	-1.019E+02	-2.180E+02	0.000E+00
2.177E+02	1.220E-03	0.000E+00	4.338E-02	-3.523E-05	9.597E+01	3.829E+02	0.000E+00	-1.020E+02	-2.179E+02	0.000E+00
2.187E+02	1.291E-03	0.000E+00	4.334E-02	-3.993E-05	9.598E+01	3.825E+02	0.000E+00	-1.021E+02	-2.177E+02	0.000E+00
2.187E+02	1.291E-03	0.000E+00	4.334E-02	-3.993E-05	9.597E+01	3.825E+02	0.000E+00	-1.021E+02	-2.177E+02	0.000E+00
2.198E+02	1.363E-03	0.000E+00	4.329E-02	-4.494E-05	9.597E+01	3.822E+02	0.000E+00	-1.023E+02	-2.176E+02	0.000E+00
2.208E+02	1.434E-03	0.000E+00	4.324E-02	-5.022E-05	9.595E+01	3.818E+02	0.000E+00	-1.024E+02	-2.174E+02	0.000E+00
2.208E+02	1.434E-03	0.000E+00	4.324E-02	-5.022E-05	9.601E+01	3.818E+02	0.000E+00	-1.024E+02	-2.174E+02	0.000E+00
2.219E+02	1.506E-03	0.000E+00	4.319E-02	-5.568E-05	9.597E+01	3.813E+02	0.000E+00	-1.024E+02	-2.171E+02	0.000E+00
2.229E+02	1.578E-03	0.000E+00	4.313E-02	-6.132E-05	9.591E+01	3.808E+02	0.000E+00	-1.024E+02	-2.169E+02	0.000E+00
2.229E+02	1.578E-03	0.000E+00	4.313E-02	-6.132E-05	9.606E+01	3.808E+02	0.000E+00	-1.024E+02	-2.169E+02	0.000E+00
2.240E+02	1.650E-03	0.000E+00	4.306E-02	-6.692E-05	9.597E+01	3.802E+02	0.000E+00	-1.023E+02	-2.166E+02	0.000E+00
2.250E+02	1.722E-03	0.000E+00	4.299E-02	-7.257E-05	9.586E+01	3.796E+02	0.000E+00	-1.022E+02	-2.162E+02	0.000E+00
2.250E+02	1.722E-03	0.000E+00	4.299E-02	-7.257E-05	9.613E+01	3.797E+02	0.000E+00	-1.022E+02	-2.163E+02	0.000E+00
2.260E+02	1.795E-03	0.000E+00	4.291E-02	-7.788E-05	9.597E+01	3.790E+02	0.000E+00	-1.019E+02	-2.158E+02	0.000E+00
2.271E+02	1.868E-03	0.000E+00	4.282E-02	-8.299E-05	9.579E+01	3.782E+02	0.000E+00	-1.016E+02	-2.154E+02	0.000E+00
2.271E+02	1.868E-03	0.000E+00	4.282E-02	-8.299E-05	9.622E+01	3.783E+02	0.000E+00	-1.016E+02	-2.155E+02	0.000E+00
2.281E+02	1.943E-03	0.000E+00	4.274E-02	-8.736E-05	9.597E+01	3.774E+02	0.000E+00	-1.011E+02	-2.149E+02	0.000E+00
2.292E+02	2.017E-03	0.000E+00	4.264E-02	-9.120E-05	9.571E+01	3.766E+02	0.000E+00	-1.005E+02	-2.144E+02	0.000E+00
2.292E+02	2.017E-03	0.000E+00	4.264E-02	-9.120E-05	9.633E+01	3.767E+02	0.000E+00	-1.005E+02	-2.145E+02	0.000E+00
2.302E+02	2.093E-03	0.000E+00	4.255E-02	-9.371E-05	9.597E+01	3.757E+02	0.000E+00	-9.968E+01	-2.139E+02	0.000E+00
2.312E+02	2.169E-03	0.000E+00	4.245E-02	-9.528E-05	9.560E+01	3.748E+02	0.000E+00	-9.883E+01	-2.132E+02	0.000E+00
2.312E+02	2.169E-03	0.000E+00	4.245E-02	-9.528E-05	9.646E+01	3.749E+02	0.000E+00	-9.883E+01	-2.133E+02	0.000E+00

2.323E+02	2.248E-03	0.000E+00	4.235E-02	-9.480E-05	9.596E+01	3.739E+02	0.000E+00	-9.758E+01	-2.126E+02	0.000E+00
2.333E+02	2.327E-03	0.000E+00	4.225E-02	-9.280E-05	9.548E+01	3.729E+02	0.000E+00	-9.633E+01	-2.119E+02	0.000E+00
2.333E+02	2.327E-03	0.000E+00	4.225E-02	-9.280E-05	9.661E+01	3.731E+02	0.000E+00	-9.634E+01	-2.120E+02	0.000E+00
2.344E+02	2.409E-03	0.000E+00	4.216E-02	-8.785E-05	9.596E+01	3.721E+02	0.000E+00	-9.460E+01	-2.112E+02	0.000E+00
2.354E+02	2.491E-03	0.000E+00	4.207E-02	-8.066E-05	9.533E+01	3.711E+02	0.000E+00	-9.286E+01	-2.105E+02	0.000E+00
2.354E+02	2.491E-03	0.000E+00	4.207E-02	-8.066E-05	9.677E+01	3.713E+02	0.000E+00	-9.288E+01	-2.106E+02	0.000E+00
2.365E+02	2.578E-03	0.000E+00	4.199E-02	-6.944E-05	9.596E+01	3.703E+02	0.000E+00	-9.056E+01	-2.098E+02	0.000E+00
2.375E+02	2.664E-03	0.000E+00	4.193E-02	-5.513E-05	9.517E+01	3.695E+02	0.000E+00	-8.828E+01	-2.090E+02	0.000E+00
2.375E+02	2.664E-03	0.000E+00	4.193E-02	-5.513E-05	9.695E+01	3.697E+02	0.000E+00	-8.829E+01	-2.092E+02	0.000E+00
2.385E+02	2.756E-03	0.000E+00	4.188E-02	-3.553E-05	9.596E+01	3.690E+02	0.000E+00	-8.533E+01	-2.083E+02	0.000E+00
2.396E+02	2.848E-03	0.000E+00	4.185E-02	-1.184E-05	9.500E+01	3.684E+02	0.000E+00	-8.241E+01	-2.075E+02	0.000E+00
2.396E+02	2.848E-03	0.000E+00	4.185E-02	-1.184E-05	9.712E+01	3.686E+02	0.000E+00	-8.242E+01	-2.078E+02	0.000E+00
2.406E+02	2.947E-03	0.000E+00	4.186E-02	1.856E-05	9.596E+01	3.682E+02	0.000E+00	-7.876E+01	-2.070E+02	0.000E+00
2.417E+02	3.045E-03	0.000E+00	4.189E-02	5.419E-05	9.484E+01	3.681E+02	0.000E+00	-7.516E+01	-2.063E+02	0.000E+00
2.417E+02	3.045E-03	0.000E+00	4.189E-02	5.419E-05	9.728E+01	3.684E+02	0.000E+00	-7.517E+01	-2.066E+02	0.000E+00
2.427E+02	3.151E-03	0.000E+00	4.197E-02	9.801E-05	9.595E+01	3.685E+02	0.000E+00	-7.079E+01	-2.060E+02	0.000E+00
2.437E+02	3.257E-03	0.000E+00	4.210E-02	1.483E-04	9.470E+01	3.691E+02	0.000E+00	-6.650E+01	-2.056E+02	0.000E+00
2.437E+02	3.257E-03	0.000E+00	4.210E-02	1.483E-04	9.739E+01	3.694E+02	0.000E+00	-6.650E+01	-2.059E+02	0.000E+00
2.448E+02	3.370E-03	0.000E+00	4.228E-02	2.083E-04	9.595E+01	3.703E+02	0.000E+00	-6.145E+01	-2.056E+02	0.000E+00
2.458E+02	3.484E-03	0.000E+00	4.254E-02	2.760E-04	9.461E+01	3.718E+02	0.000E+00	-5.652E+01	-2.056E+02	0.000E+00
2.458E+02	3.484E-03	0.000E+00	4.254E-02	2.760E-04	9.742E+01	3.722E+02	0.000E+00	-5.651E+01	-2.060E+02	0.000E+00
2.469E+02	3.607E-03	0.000E+00	4.286E-02	3.547E-04	9.594E+01	3.743E+02	0.000E+00	-5.090E+01	-2.062E+02	0.000E+00
2.479E+02	3.729E-03	0.000E+00	4.328E-02	4.424E-04	9.460E+01	3.771E+02	0.000E+00	-4.546E+01	-2.068E+02	0.000E+00
2.479E+02	3.729E-03	0.000E+00	4.328E-02	4.424E-04	9.734E+01	3.775E+02	0.000E+00	-4.543E+01	-2.071E+02	0.000E+00
2.490E+02	3.860E-03	0.000E+00	4.379E-02	5.422E-04	9.594E+01	3.810E+02	0.000E+00	-3.950E+01	-2.081E+02	0.000E+00
2.500E+02	3.991E-03	0.000E+00	4.441E-02	6.518E-04	9.470E+01	3.856E+02	0.000E+00	-3.379E+01	-2.095E+02	0.000E+00
2.500E+02	3.991E-03	0.000E+00	4.441E-02	6.518E-04	9.392E+01	3.973E+02	0.000E+00	-3.306E+01	-9.588E+00	0.000E+00
2.521E+02	3.880E-03	0.000E+00	4.533E-02	2.496E-04	9.626E+01	4.056E+02	0.000E+00	-2.315E+01	-6.713E+00	0.000E+00
2.542E+02	3.768E-03	0.000E+00	4.555E-02	-1.072E-05	9.684E+01	4.077E+02	0.000E+00	-1.323E+01	-3.837E+00	0.000E+00
2.542E+02	3.768E-03	0.000E+00	4.555E-02	-1.072E-05	9.656E+01	4.076E+02	0.000E+00	-1.324E+01	-3.839E+00	0.000E+00
2.562E+02	3.656E-03	0.000E+00	4.536E-02	-1.595E-04	9.606E+01	4.058E+02	0.000E+00	-7.561E+00	-2.193E+00	0.000E+00
2.583E+02	3.543E-03	0.000E+00	4.494E-02	-2.271E-04	9.497E+01	4.021E+02	0.000E+00	-1.884E+00	-5.464E-01	0.000E+00
2.583E+02	3.543E-03	0.000E+00	4.494E-02	-2.271E-04	9.726E+01	4.027E+02	0.000E+00	-2.068E+00	-5.999E-01	0.000E+00
2.604E+02	3.441E-03	0.000E+00	4.445E-02	-2.402E-04	9.596E+01	3.982E+02	0.000E+00	2.347E-01	6.806E-02	0.000E+00
2.625E+02	3.339E-03	0.000E+00	4.396E-02	-2.204E-04	9.468E+01	3.938E+02	0.000E+00	2.538E+00	7.360E-01	0.000E+00
2.625E+02	3.339E-03	0.000E+00	4.396E-02	-2.204E-04	9.705E+01	3.945E+02	0.000E+00	2.358E+00	6.838E-01	0.000E+00
2.646E+02	3.249E-03	0.000E+00	4.354E-02	-1.839E-04	9.593E+01	3.907E+02	0.000E+00	2.743E+00	7.956E-01	0.000E+00
2.667E+02	3.158E-03	0.000E+00	4.320E-02	-1.419E-04	9.503E+01	3.876E+02	0.000E+00	3.129E+00	9.073E-01	0.000E+00
2.667E+02	3.158E-03	0.000E+00	4.320E-02	-1.419E-04	9.660E+01	3.880E+02	0.000E+00	3.012E+00	8.736E-01	0.000E+00
2.687E+02	3.075E-03	0.000E+00	4.295E-02	-1.015E-04	9.593E+01	3.857E+02	0.000E+00	2.627E+00	7.619E-01	0.000E+00
2.708E+02	2.992E-03	0.000E+00	4.277E-02	-6.668E-05	9.547E+01	3.841E+02	0.000E+00	2.242E+00	6.502E-01	0.000E+00
2.708E+02	2.992E-03	0.000E+00	4.277E-02	-6.668E-05	9.623E+01	3.844E+02	0.000E+00	2.187E+00	6.343E-01	0.000E+00
2.729E+02	2.913E-03	0.000E+00	4.267E-02	-3.901E-05	9.594E+01	3.834E+02	0.000E+00	1.679E+00	4.870E-01	0.000E+00
2.750E+02	2.834E-03	0.000E+00	4.261E-02	-1.862E-05	9.579E+01	3.828E+02	0.000E+00	1.171E+00	3.397E-01	0.000E+00
2.750E+02	2.834E-03	0.000E+00	4.261E-02	-1.862E-05	9.602E+01	3.829E+02	0.000E+00	1.156E+00	3.352E-01	0.000E+00
2.771E+02	2.756E-03	0.000E+00	4.258E-02	-4.743E-06	9.595E+01	3.827E+02	0.000E+00	7.831E-01	2.271E-01	0.000E+00
2.792E+02	2.677E-03	0.000E+00	4.258E-02	3.795E-06	9.595E+01	3.827E+02	0.000E+00	4.103E-01	1.190E-01	0.000E+00
2.792E+02	2.677E-03	0.000E+00	4.258E-02	3.795E-06	9.593E+01	3.827E+02	0.000E+00	4.131E-01	1.198E-01	0.000E+00
2.812E+02	2.599E-03	0.000E+00	4.260E-02	8.284E-06	9.596E+01	3.828E+02	0.000E+00	2.142E-01	6.212E-02	0.000E+00
2.833E+02	2.521E-03	0.000E+00	4.262E-02	9.927E-06	9.601E+01	3.830E+02	0.000E+00	1.534E-02	4.448E-03	0.000E+00
2.833E+02	2.521E-03	0.000E+00	4.262E-02	9.927E-06	9.591E+01	3.829E+02	0.000E+00	2.347E-02	6.807E-03	0.000E+00
2.854E+02	2.442E-03	0.000E+00	4.264E-02	9.743E-06	9.597E+01	3.831E+02	0.000E+00	-4.898E-02	-1.421E-02	0.000E+00
2.875E+02	2.363E-03	0.000E+00	4.266E-02	8.525E-06	9.602E+01	3.833E+02	0.000E+00	-1.214E-01	-3.521E-02	0.000E+00
2.875E+02	2.363E-03	0.000E+00	4.266E-02	8.525E-06	9.592E+01	3.833E+02	0.000E+00	-1.145E-01	-3.319E-02	0.000E+00
2.896E+02	2.284E-03	0.000E+00	4.267E-02	6.850E-06	9.597E+01	3.834E+02	0.000E+00	-1.196E-01	-3.468E-02	0.000E+00
2.917E+02	2.204E-03	0.000E+00	4.268E-02	5.102E-06	9.600E+01	3.835E+02	0.000E+00	-1.246E-01	-3.615E-02	0.000E+00
2.917E+02	2.204E-03	0.000E+00	4.268E-02	5.102E-06	9.594E+01	3.835E+02	0.000E+00	-1.206E-01	-3.496E-02	0.000E+00



2.937E+02	2.125E-03	0.000E+00	4.269E-02	3.512E-06	9.597E+01	3.836E+02	0.000E+00	-1.017E-01	-2.949E-02	0.000E+00
2.958E+02	2.045E-03	0.000E+00	4.270E-02	2.192E-06	9.598E+01	3.837E+02	0.000E+00	-8.288E-02	-2.403E-02	0.000E+00
2.958E+02	2.045E-03	0.000E+00	4.270E-02	2.192E-06	9.596E+01	3.836E+02	0.000E+00	-8.102E-02	-2.350E-02	0.000E+00
2.979E+02	1.965E-03	0.000E+00	4.270E-02	1.179E-06	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-6.050E-02	-1.755E-02	0.000E+00
3.000E+02	1.886E-03	0.000E+00	4.270E-02	4.599E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-3.991E-02	-1.157E-02	0.000E+00
3.000E+02	1.886E-03	0.000E+00	4.270E-02	4.599E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	-3.943E-02	-1.144E-02	0.000E+00
3.021E+02	1.806E-03	0.000E+00	4.270E-02	-4.904E-09	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-2.546E-02	-7.383E-03	0.000E+00
3.042E+02	1.726E-03	0.000E+00	4.270E-02	-2.687E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	-1.148E-02	-3.328E-03	0.000E+00
3.042E+02	1.726E-03	0.000E+00	4.270E-02	-2.687E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-1.170E-02	-3.392E-03	0.000E+00
3.063E+02	1.647E-03	0.000E+00	4.270E-02	-3.809E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	-3.962E-03	-1.149E-03	0.000E+00
3.083E+02	1.567E-03	0.000E+00	4.270E-02	-3.821E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	3.840E-03	1.114E-03	0.000E+00
3.083E+02	1.567E-03	0.000E+00	4.270E-02	-3.821E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	3.492E-03	1.013E-03	0.000E+00
3.104E+02	1.487E-03	0.000E+00	4.270E-02	-3.109E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	6.343E-03	1.840E-03	0.000E+00
3.125E+02	1.407E-03	0.000E+00	4.270E-02	-2.006E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	9.202E-03	2.668E-03	0.000E+00
3.125E+02	1.407E-03	0.000E+00	4.270E-02	-2.006E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	9.525E-03	2.762E-03	0.000E+00
3.146E+02	1.328E-03	0.000E+00	4.270E-02	-7.490E-08	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	8.057E-03	2.337E-03	0.000E+00
3.167E+02	1.248E-03	0.000E+00	4.270E-02	3.004E-08	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	6.675E-03	1.936E-03	0.000E+00
3.167E+02	1.248E-03	0.000E+00	4.270E-02	3.004E-08	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	6.687E-03	1.939E-03	0.000E+00
3.188E+02	1.168E-03	0.000E+00	4.270E-02	1.165E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	5.389E-03	1.563E-03	0.000E+00
3.208E+02	1.089E-03	0.000E+00	4.270E-02	1.843E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	4.020E-03	1.166E-03	0.000E+00
3.208E+02	1.089E-03	0.000E+00	4.270E-02	1.843E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	4.205E-03	1.219E-03	0.000E+00
3.229E+02	1.009E-03	0.000E+00	4.270E-02	2.132E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	-1.279E-04	-3.709E-05	0.000E+00
3.250E+02	9.293E-04	0.000E+00	4.270E-02	1.806E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-4.465E-03	-1.295E-03	0.000E+00
3.250E+02	9.293E-04	0.000E+00	4.270E-02	1.806E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	-4.130E-03	-1.198E-03	0.000E+00
3.271E+02	8.496E-04	0.000E+00	4.270E-02	6.325E-08	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-1.235E-02	-3.581E-03	0.000E+00
3.292E+02	7.699E-04	0.000E+00	4.270E-02	-1.728E-07	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	-2.056E-02	-5.961E-03	0.000E+00
3.292E+02	7.699E-04	0.000E+00	4.270E-02	-1.728E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-2.072E-02	-6.009E-03	0.000E+00
3.313E+02	6.902E-04	0.000E+00	4.270E-02	-5.582E-07	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-3.298E-02	-9.564E-03	0.000E+00
3.333E+02	6.105E-04	0.000E+00	4.270E-02	-1.117E-06	9.596E+01	3.837E+02	0.000E+00	-4.525E-02	-1.312E-02	0.000E+00
3.333E+02	6.105E-04	0.000E+00	4.270E-02	-1.117E-06	9.597E+01	3.837E+02	0.000E+00	-4.625E-02	-1.341E-02	0.000E+00
3.354E+02	5.309E-04	0.000E+00	4.270E-02	-1.869E-06	9.597E+01	3.836E+02	0.000E+00	-5.890E-02	-1.708E-02	0.000E+00
3.375E+02	4.512E-04	0.000E+00	4.269E-02	-2.803E-06	9.595E+01	3.836E+02	0.000E+00	-7.164E-02	-2.077E-02	0.000E+00
3.375E+02	4.512E-04	0.000E+00	4.269E-02	-2.803E-06	9.598E+01	3.836E+02	0.000E+00	-7.400E-02	-2.146E-02	0.000E+00
3.396E+02	3.717E-04	0.000E+00	4.268E-02	-3.868E-06	9.597E+01	3.835E+02	0.000E+00	-7.488E-02	-2.172E-02	0.000E+00
3.417E+02	2.923E-04	0.000E+00	4.268E-02	-4.946E-06	9.594E+01	3.835E+02	0.000E+00	-7.570E-02	-2.195E-02	0.000E+00
3.417E+02	2.923E-04	0.000E+00	4.268E-02	-4.946E-06	9.600E+01	3.835E+02	0.000E+00	-7.978E-02	-2.314E-02	0.000E+00
3.438E+02	2.130E-04	0.000E+00	4.266E-02	-5.838E-06	9.597E+01	3.834E+02	0.000E+00	-4.484E-02	-1.300E-02	0.000E+00
3.458E+02	1.338E-04	0.000E+00	4.265E-02	-6.230E-06	9.593E+01	3.833E+02	0.000E+00	-9.931E-03	-2.880E-03	0.000E+00
3.458E+02	1.338E-04	0.000E+00	4.265E-02	-6.230E-06	9.600E+01	3.833E+02	0.000E+00	-1.494E-02	-4.333E-03	0.000E+00
3.479E+02	5.490E-05	0.000E+00	4.264E-02	-5.677E-06	9.596E+01	3.832E+02	0.000E+00	9.212E-02	2.672E-02	0.000E+00
3.500E+02	-2.401E-05	0.000E+00	4.263E-02	-3.593E-06	9.594E+01	3.831E+02	0.000E+00	1.991E-01	5.774E-02	0.000E+00
3.500E+02	-2.401E-05	0.000E+00	4.263E-02	-3.593E-06	9.597E+01	3.831E+02	0.000E+00	1.963E-01	5.693E-02	0.000E+00
3.521E+02	-1.028E-04	0.000E+00	4.263E-02	7.329E-07	9.596E+01	3.830E+02	0.000E+00	4.083E-01	1.184E-01	0.000E+00
3.542E+02	-1.815E-04	0.000E+00	4.263E-02	8.093E-06	9.598E+01	3.831E+02	0.000E+00	6.202E-01	1.799E-01	0.000E+00
3.542E+02	-1.815E-04	0.000E+00	4.263E-02	8.093E-06	9.588E+01	3.831E+02	0.000E+00	6.270E-01	1.818E-01	0.000E+00
3.563E+02	-2.608E-04	0.000E+00	4.266E-02	1.927E-05	9.595E+01	3.833E+02	0.000E+00	9.344E-01	2.710E-01	0.000E+00
3.583E+02	-3.401E-04	0.000E+00	4.272E-02	3.484E-05	9.610E+01	3.838E+02	0.000E+00	1.242E+00	3.601E-01	0.000E+00
3.583E+02	-3.401E-04	0.000E+00	4.272E-02	3.484E-05	9.570E+01	3.837E+02	0.000E+00	1.271E+00	3.685E-01	0.000E+00
3.604E+02	-4.212E-04	0.000E+00	4.281E-02	5.498E-05	9.594E+01	3.846E+02	0.000E+00	1.544E+00	4.479E-01	0.000E+00
3.625E+02	-5.024E-04	0.000E+00	4.295E-02	7.904E-05	9.631E+01	3.858E+02	0.000E+00	1.818E+00	5.272E-01	0.000E+00
3.625E+02	-5.024E-04	0.000E+00	4.295E-02	7.904E-05	9.543E+01	3.856E+02	0.000E+00	1.883E+00	5.461E-01	0.000E+00
3.646E+02	-5.877E-04	0.000E+00	4.314E-02	1.052E-04	9.594E+01	3.873E+02	0.000E+00	1.771E+00	5.137E-01	0.000E+00
3.667E+02	-6.731E-04	0.000E+00	4.339E-02	1.297E-04	9.659E+01	3.896E+02	0.000E+00	1.659E+00	4.813E-01	0.000E+00
3.667E+02	-6.731E-04	0.000E+00	4.339E-02	1.297E-04	9.519E+01	3.892E+02	0.000E+00	1.766E+00	5.120E-01	0.000E+00
3.688E+02	-7.651E-04	0.000E+00	4.368E-02	1.467E-04	9.596E+01	3.918E+02	0.000E+00	6.090E-01	1.766E-01	0.000E+00
3.708E+02	-8.572E-04	0.000E+00	4.399E-02	1.472E-04	9.677E+01	3.946E+02	0.000E+00	-5.476E-01	-1.588E-01	0.000E+00
3.708E+02	-8.572E-04	0.000E+00	4.399E-02	1.472E-04	9.526E+01	3.942E+02	0.000E+00	-4.279E-01	-1.241E-01	0.000E+00

3.729E+02	-9.564E-04	0.000E+00	4.427E-02	1.189E-04	9.601E+01	3.968E+02	0.000E+00	-3.524E+00	-1.022E+00	0.000E+00
3.750E+02	-1.056E-03	0.000E+00	4.445E-02	4.631E-05	9.648E+01	3.984E+02	0.000E+00	-6.620E+00	-1.920E+00	0.000E+00
3.750E+02	-1.056E-03	0.000E+00	4.445E-02	4.631E-05	9.620E+01	3.983E+02	0.000E+00	-6.584E+00	-1.909E+00	0.000E+00
3.771E+02	-1.156E-03	0.000E+00	4.442E-02	-8.876E-05	9.612E+01	3.981E+02	0.000E+00	-1.229E+01	-3.565E+00	0.000E+00
3.792E+02	-1.257E-03	0.000E+00	4.402E-02	-3.055E-04	9.510E+01	3.944E+02	0.000E+00	-1.800E+01	-5.220E+00	0.000E+00
3.792E+02	-1.257E-03	0.000E+00	4.402E-02	-3.055E-04	9.872E+01	3.955E+02	0.000E+00	-1.826E+01	-5.294E+00	0.000E+00
3.813E+02	-1.340E-03	0.000E+00	4.308E-02	-6.213E-04	9.629E+01	3.869E+02	0.000E+00	-2.588E+01	-7.504E+00	0.000E+00
3.833E+02	-1.423E-03	0.000E+00	4.136E-02	-1.046E-03	9.191E+01	3.713E+02	0.000E+00	-3.350E+01	-9.715E+00	0.000E+00
3.833E+02	-1.423E-03	0.000E+00	4.136E-02	-1.046E-03	1.033E+02	3.746E+02	0.000E+00	-3.437E+01	-9.966E+00	0.000E+00
3.854E+02	-1.452E-03	0.000E+00	3.864E-02	-1.577E-03	9.645E+01	3.500E+02	0.000E+00	-3.981E+01	-1.154E+01	0.000E+00
3.875E+02	-1.481E-03	0.000E+00	3.474E-02	-2.186E-03	8.665E+01	3.146E+02	0.000E+00	-4.525E+01	-1.312E+01	0.000E+00
3.875E+02	-1.481E-03	0.000E+00	3.474E-02	-2.186E-03	1.096E+02	3.212E+02	0.000E+00	-4.706E+01	-1.365E+01	0.000E+00
3.896E+02	-1.401E-03	0.000E+00	2.951E-02	-2.810E-03	9.649E+01	2.739E+02	0.000E+00	-4.026E+01	-1.168E+01	0.000E+00
3.917E+02	-1.320E-03	0.000E+00	2.309E-02	-3.338E-03	8.025E+01	2.157E+02	0.000E+00	-3.347E+01	-9.707E+00	0.000E+00
3.917E+02	-1.320E-03	0.000E+00	2.309E-02	-3.338E-03	1.150E+02	2.258E+02	0.000E+00	-3.622E+01	-1.050E+01	0.000E+00
3.938E+02	-1.074E-03	0.000E+00	1.578E-02	-3.595E-03	9.609E+01	1.594E+02	0.000E+00	3.046E-01	8.833E-02	0.000E+00
3.958E+02	-8.274E-04	0.000E+00	8.477E-03	-3.329E-03	7.642E+01	9.281E+01	0.000E+00	3.683E+01	1.068E+01	0.000E+00
3.958E+02	-8.274E-04	0.000E+00	8.477E-03	-3.329E-03	1.115E+02	1.030E+02	0.000E+00	3.878E+01	1.125E+01	0.000E+00
3.979E+02	-4.137E-04	0.000E+00	2.505E-03	-2.219E-03	9.440E+01	4.825E+01	0.000E+00	1.163E+02	3.373E+01	0.000E+00
4.000E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	8.672E+01	2.515E+01	0.000E+00	1.939E+02	5.622E+01	0.000E+00

PRES. MULT= 8.200E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 4.669E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.500E+02	0.000E+00
LAYER	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Z	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-2.025E+00	-1.000E+00
SIGMA-1	3.585E+02	3.585E+02	3.585E+02	3.585E+02	3.585E+02	1.381E+02	3.585E+02
SIGMA-2	1.040E+02	1.040E+02	1.040E+02	1.040E+02	1.040E+02	2.297E+02	1.040E+02
SIGMA-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
INDEX	8.148E-01	1.642E-03	5.272E-01	5.272E-01	5.272E-01	5.060E-01	7.197E-01

PRES. MULT= 8.400E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 4.782E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.500E+02	0.000E+00
LAYER	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Z	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-2.025E+00	-1.000E+00
SIGMA-1	3.672E+02	3.672E+02	3.672E+02	3.672E+02	3.672E+02	1.414E+02	3.672E+02
SIGMA-2	1.065E+02	1.065E+02	1.065E+02	1.065E+02	1.065E+02	2.353E+02	1.065E+02
SIGMA-12	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
INDEX	8.346E-01	1.682E-03	5.532E-01	5.532E-01	5.532E-01	5.310E-01	7.552E-01

PRES. MULT= 8.600E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 4.896E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.500E+02	0.000E+00
LAYER	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Z	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-1.000E+00	-2.025E+00	-1.000E+00
SIGMA-1	3.759E+02	3.759E+02	3.759E+02	3.759E+02	3.759E+02	1.448E+02	3.759E+02
SIGMA-2	1.090E+02	1.090E+02	1.090E+02	1.090E+02	1.090E+02	2.409E+02	1.090E+02

SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
INDEX 8.544E-01 1.722E-03 5.797E-01 5.797E-01 5.797E-01 5.565E-01 7.914E-01

PRES. MULT= 8.800E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 5.010E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 2.500E+02 0.000E+00  
LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
SIGMA-1 3.847E+02 3.847E+02 3.847E+02 3.847E+02 3.847E+02 1.482E+02 3.847E+02  
SIGMA-2 1.116E+02 1.116E+02 1.116E+02 1.116E+02 1.116E+02 2.465E+02 1.116E+02  
SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
INDEX 8.742E-01 1.762E-03 6.069E-01 6.069E-01 6.069E-01 5.827E-01 8.286E-01

PRES. MULT= 9.000E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 5.124E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.500E+02 0.000E+00  
LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
SIGMA-1 3.934E+02 3.934E+02 3.934E+02 3.934E+02 3.934E+02 1.515E+02 3.934E+02  
SIGMA-2 1.141E+02 1.141E+02 1.141E+02 1.141E+02 1.141E+02 2.521E+02 1.141E+02  
SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
INDEX 8.940E-01 1.801E-03 6.347E-01 6.347E-01 6.347E-01 6.095E-01 8.665E-01

PRES. MULT= 9.200E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 5.237E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.500E+02 0.000E+00  
LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
SIGMA-1 4.021E+02 4.021E+02 4.021E+02 4.021E+02 4.021E+02 1.549E+02 4.021E+02  
SIGMA-2 1.166E+02 1.166E+02 1.166E+02 1.166E+02 1.166E+02 2.577E+02 1.166E+02  
SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
INDEX 9.139E-01 1.841E-03 6.632E-01 6.632E-01 6.632E-01 6.368E-01 9.054E-01

PRES. MULT= 9.400E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 5.351E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.500E+02 0.000E+00  
LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
SIGMA-1 4.108E+02 4.108E+02 4.108E+02 4.108E+02 4.108E+02 1.583E+02 4.108E+02  
SIGMA-2 1.191E+02 1.191E+02 1.191E+02 1.191E+02 1.191E+02 2.633E+02 1.191E+02  
SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
INDEX 9.337E-01 1.881E-03 6.922E-01 6.922E-01 6.922E-01 6.648E-01 9.450E-01

PRES. MULT= 9.600E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 5.465E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 1.500E+02 0.000E+00  
 LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
 Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
 SIGMA-1 4.195E+02 4.195E+02 4.195E+02 4.195E+02 4.195E+02 1.616E+02 4.195E+02  
 SIGMA-2 1.217E+02 1.217E+02 1.217E+02 1.217E+02 1.217E+02 2.689E+02 1.217E+02  
 SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
 INDEX 9.535E-01 1.921E-03 7.219E-01 7.219E-01 7.219E-01 6.934E-01 9.855E-01

PRES. MULT= 9.800E+00 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 5.578E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 2.500E+02 0.000E+00  
 LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
 Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
 SIGMA-1 4.282E+02 4.282E+02 4.282E+02 4.282E+02 4.282E+02 1.650E+02 4.282E+02  
 SIGMA-2 1.242E+02 1.242E+02 1.242E+02 1.242E+02 1.242E+02 2.745E+02 1.242E+02  
 SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
 INDEX 9.733E-01 1.961E-03 7.522E-01 7.522E-01 7.522E-01 7.225E-01 1.027E+00

PRES. MULT= 1.000E+01 ITERATIONS= 3 MAX. DISP= 5.692E-02

MAXIMUM INDICES OF FAILURE

MAX.STRS. MAX.STRN TSAI-HILL HOFFMAN TSAI-WU.STRS TSAI-WU.STRN OWEN

STATION 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 2.500E+02 0.000E+00  
 LAYER 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0  
 Z -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -1.000E+00 -2.025E+00 -1.000E+00  
 SIGMA-1 4.369E+02 4.369E+02 4.369E+02 4.369E+02 4.369E+02 1.684E+02 4.369E+02  
 SIGMA-2 1.267E+02 1.267E+02 1.267E+02 1.267E+02 1.267E+02 2.801E+02 1.267E+02  
 SIGMA-12 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00  
 INDEX 9.930E-01 2.001E-03 7.831E-01 7.831E-01 7.831E-01 7.523E-01 1.069E+00

I PRESSURE OR LOAD MULTIPLIER= 1.000E+01

STATION	U	V	W	BETA	N(FI)	N(THETA)	N(FI,THETA)	M(FI)	M(THETA)	M(FI,THETA)	
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.076E+02	3.119E+01	0.000E+00	2.554E+02	7.408E+01	0.000E+00
2.083E+00	5.131E-04	0.000E+00	3.270E-03	2.881E-03	1.180E+02	6.147E+01	0.000E+00	1.472E+02	4.267E+01	0.000E+00	
4.167E+00	1.026E-03	0.000E+00	1.093E-02	4.212E-03	1.403E+02	1.317E+02	0.000E+00	3.887E+01	1.127E+01	0.000E+00	
4.167E+00	1.026E-03	0.000E+00	1.093E-02	4.212E-03	9.541E+01	1.187E+02	0.000E+00	4.229E+01	1.226E+01	0.000E+00	
6.250E+00	1.325E-03	0.000E+00	2.011E-02	4.499E-03	1.202E+02	2.025E+02	0.000E+00	-2.093E+00	-6.069E-01	0.000E+00	
8.333E+00	1.625E-03	0.000E+00	2.923E-02	4.152E-03	1.436E+02	2.853E+02	0.000E+00	-4.648E+01	-1.348E+01	0.000E+00	
8.333E+00	1.625E-03	0.000E+00	2.923E-02	4.152E-03	1.007E+02	2.728E+02	0.000E+00	-4.305E+01	-1.248E+01	0.000E+00	
1.042E+01	1.719E-03	0.000E+00	3.720E-02	3.480E-03	1.206E+02	3.450E+02	0.000E+00	-5.088E+01	-1.476E+01	0.000E+00	
1.250E+01	1.814E-03	0.000E+00	4.366E-02	2.696E-03	1.366E+02	4.034E+02	0.000E+00	-5.871E+01	-1.703E+01	0.000E+00	
1.250E+01	1.814E-03	0.000E+00	4.366E-02	2.696E-03	1.086E+02	3.953E+02	0.000E+00	-5.648E+01	-1.638E+01	0.000E+00	
1.458E+01	1.775E-03	0.000E+00	4.846E-02	1.938E-03	1.206E+02	4.388E+02	0.000E+00	-4.947E+01	-1.435E+01	0.000E+00	
1.667E+01	1.736E-03	0.000E+00	5.180E-02	1.280E-03	1.289E+02	4.690E+02	0.000E+00	-4.245E+01	-1.231E+01	0.000E+00	
1.667E+01	1.736E-03	0.000E+00	5.180E-02	1.280E-03	1.151E+02	4.650E+02	0.000E+00	-4.139E+01	-1.200E+01	0.000E+00	
1.875E+01	1.631E-03	0.000E+00	5.389E-02	7.555E-04	1.204E+02	4.840E+02	0.000E+00	-3.188E+01	-9.246E+00	0.000E+00	
2.083E+01	1.526E-03	0.000E+00	5.504E-02	3.673E-04	1.233E+02	4.944E+02	0.000E+00	-2.237E+01	-6.488E+00	0.000E+00	
2.083E+01	1.526E-03	0.000E+00	5.504E-02	3.673E-04	1.189E+02	4.932E+02	0.000E+00	-2.207E+01	-6.400E+00	0.000E+00	
2.292E+01	1.401E-03	0.000E+00	5.551E-02	1.019E-04	1.202E+02	4.974E+02	0.000E+00	-1.502E+01	-4.355E+00	0.000E+00	
2.500E+01	1.275E-03	0.000E+00	5.554E-02	-6.254E-05	1.202E+02	4.977E+02	0.000E+00	-7.969E+00	-2.311E+00	0.000E+00	

2.500E+01	1.275E-03	0.000E+00	5.554E-02	-6.254E-05	1.206E+02	4.978E+02	0.000E+00	-8.020E+00	-2.326E+00	0.000E+00
2.708E+01	1.152E-03	0.000E+00	5.530E-02	-1.502E-04	1.200E+02	4.957E+02	0.000E+00	-4.227E+00	-1.226E+00	0.000E+00
2.917E+01	1.028E-03	0.000E+00	5.495E-02	-1.835E-04	1.191E+02	4.924E+02	0.000E+00	-4.339E-01	-1.258E-01	0.000E+00
2.917E+01	1.028E-03	0.000E+00	5.495E-02	-1.835E-04	1.210E+02	4.930E+02	0.000E+00	-5.842E-01	-1.694E-01	0.000E+00
3.125E+01	9.134E-04	0.000E+00	5.456E-02	-1.819E-04	1.200E+02	4.895E+02	0.000E+00	8.161E-01	2.367E-01	0.000E+00
3.333E+01	7.988E-04	0.000E+00	5.420E-02	-1.602E-04	1.190E+02	4.862E+02	0.000E+00	2.217E+00	6.428E-01	0.000E+00
3.333E+01	7.988E-04	0.000E+00	5.420E-02	-1.602E-04	1.207E+02	4.867E+02	0.000E+00	2.085E+00	6.047E-01	0.000E+00
3.542E+01	6.924E-04	0.000E+00	5.390E-02	-1.295E-04	1.199E+02	4.840E+02	0.000E+00	2.207E+00	6.400E-01	0.000E+00
3.750E+01	5.861E-04	0.000E+00	5.367E-02	-9.700E-05	1.193E+02	4.818E+02	0.000E+00	2.329E+00	6.753E-01	0.000E+00
3.750E+01	5.861E-04	0.000E+00	5.367E-02	-9.700E-05	1.204E+02	4.821E+02	0.000E+00	2.249E+00	6.523E-01	0.000E+00
3.958E+01	4.849E-04	0.000E+00	5.350E-02	-6.728E-05	1.199E+02	4.806E+02	0.000E+00	1.905E+00	5.524E-01	0.000E+00
4.167E+01	3.837E-04	0.000E+00	5.338E-02	-4.248E-05	1.196E+02	4.795E+02	0.000E+00	1.560E+00	4.525E-01	0.000E+00
4.167E+01	3.837E-04	0.000E+00	5.338E-02	-4.248E-05	1.201E+02	4.797E+02	0.000E+00	1.526E+00	4.424E-01	0.000E+00
4.375E+01	2.848E-04	0.000E+00	5.331E-02	-2.337E-05	1.199E+02	4.791E+02	0.000E+00	1.145E+00	3.322E-01	0.000E+00
4.583E+01	1.860E-04	0.000E+00	5.328E-02	-9.697E-06	1.199E+02	4.788E+02	0.000E+00	7.655E-01	2.220E-01	0.000E+00
4.583E+01	1.860E-04	0.000E+00	5.328E-02	-9.697E-06	1.200E+02	4.788E+02	0.000E+00	7.576E-01	2.197E-01	0.000E+00
4.792E+01	8.768E-05	0.000E+00	5.327E-02	-7.173E-07	1.200E+02	4.787E+02	0.000E+00	4.972E-01	1.442E-01	0.000E+00
5.000E+01	-1.059E-05	0.000E+00	5.327E-02	4.535E-06	1.200E+02	4.787E+02	0.000E+00	2.369E-01	6.869E-02	0.000E+00
5.000E+01	-1.059E-05	0.000E+00	5.327E-02	4.535E-06	1.199E+02	4.787E+02	0.000E+00	2.406E-01	6.979E-02	0.000E+00
5.208E+01	-1.091E-04	0.000E+00	5.329E-02	7.043E-06	1.200E+02	4.788E+02	0.000E+00	1.101E-01	3.193E-02	0.000E+00
5.417E+01	-2.075E-04	0.000E+00	5.330E-02	7.686E-06	1.200E+02	4.790E+02	0.000E+00	-2.030E-02	-5.886E-03	0.000E+00
5.417E+01	-2.075E-04	0.000E+00	5.330E-02	7.686E-06	1.199E+02	4.790E+02	0.000E+00	-1.428E-02	-4.141E-03	0.000E+00
5.625E+01	-3.064E-04	0.000E+00	5.332E-02	7.177E-06	1.200E+02	4.791E+02	0.000E+00	-5.658E-02	-1.641E-02	0.000E+00
5.833E+01	-4.052E-04	0.000E+00	5.333E-02	6.067E-06	1.200E+02	4.792E+02	0.000E+00	-9.870E-02	-2.862E-02	0.000E+00
5.833E+01	-4.052E-04	0.000E+00	5.333E-02	6.067E-06	1.199E+02	4.792E+02	0.000E+00	-9.400E-02	-2.726E-02	0.000E+00
6.042E+01	-5.044E-04	0.000E+00	5.334E-02	4.735E-06	1.200E+02	4.793E+02	0.000E+00	-9.238E-02	-2.679E-02	0.000E+00
6.250E+01	-6.035E-04	0.000E+00	5.335E-02	3.423E-06	1.200E+02	4.794E+02	0.000E+00	-9.094E-02	-2.637E-02	0.000E+00
6.250E+01	-6.035E-04	0.000E+00	5.335E-02	3.423E-06	1.199E+02	4.794E+02	0.000E+00	-8.804E-02	-2.553E-02	0.000E+00
6.458E+01	-7.029E-04	0.000E+00	5.336E-02	2.275E-06	1.200E+02	4.794E+02	0.000E+00	-7.233E-02	-2.098E-02	0.000E+00
6.667E+01	-8.022E-04	0.000E+00	5.336E-02	1.352E-06	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-5.663E-02	-1.642E-02	0.000E+00
6.667E+01	-8.022E-04	0.000E+00	5.336E-02	1.352E-06	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-5.549E-02	-1.609E-02	0.000E+00
6.875E+01	-9.017E-04	0.000E+00	5.336E-02	6.670E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-4.037E-02	-1.171E-02	0.000E+00
7.083E+01	-1.001E-03	0.000E+00	5.336E-02	1.968E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-2.539E-02	-7.363E-03	0.000E+00
7.083E+01	-1.001E-03	0.000E+00	5.336E-02	1.968E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-2.497E-02	-7.242E-03	0.000E+00
7.292E+01	-1.101E-03	0.000E+00	5.336E-02	-9.034E-08	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-1.501E-02	-4.353E-03	0.000E+00
7.500E+01	-1.200E-03	0.000E+00	5.336E-02	-2.328E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-4.855E-03	-1.408E-03	0.000E+00
7.500E+01	-1.200E-03	0.000E+00	5.336E-02	-2.328E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-5.017E-03	-1.455E-03	0.000E+00
7.708E+01	-1.299E-03	0.000E+00	5.336E-02	-2.665E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	2.864E-04	8.305E-05	0.000E+00
7.917E+01	-1.399E-03	0.000E+00	5.336E-02	-2.246E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	5.592E-03	1.622E-03	0.000E+00
7.917E+01	-1.399E-03	0.000E+00	5.336E-02	-2.246E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	5.472E-03	1.587E-03	0.000E+00
8.125E+01	-1.498E-03	0.000E+00	5.336E-02	-1.303E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	7.761E-03	2.251E-03	0.000E+00
8.333E+01	-1.598E-03	0.000E+00	5.336E-02	-2.487E-09	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	1.008E-02	2.924E-03	0.000E+00
8.333E+01	-1.598E-03	0.000E+00	5.336E-02	-2.487E-09	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	9.981E-03	2.895E-03	0.000E+00
8.542E+01	-1.697E-03	0.000E+00	5.336E-02	1.399E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	9.882E-03	2.866E-03	0.000E+00
8.750E+01	-1.796E-03	0.000E+00	5.336E-02	2.804E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	9.609E-03	2.787E-03	0.000E+00
8.750E+01	-1.796E-03	0.000E+00	5.336E-02	2.804E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	1.024E-02	2.968E-03	0.000E+00
8.958E+01	-1.896E-03	0.000E+00	5.336E-02	3.987E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	6.617E-03	1.919E-03	0.000E+00
9.167E+01	-1.995E-03	0.000E+00	5.337E-02	4.698E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	3.067E-03	8.893E-04	0.000E+00
9.167E+01	-1.995E-03	0.000E+00	5.337E-02	4.698E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	3.535E-03	1.025E-03	0.000E+00
9.375E+01	-2.095E-03	0.000E+00	5.337E-02	4.563E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-5.473E-03	-1.587E-03	0.000E+00
9.583E+01	-2.194E-03	0.000E+00	5.337E-02	3.131E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-1.446E-02	-4.195E-03	0.000E+00
9.583E+01	-2.194E-03	0.000E+00	5.337E-02	3.131E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-1.428E-02	-4.142E-03	0.000E+00
9.792E+01	-2.294E-03	0.000E+00	5.337E-02	-1.644E-08	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-3.176E-02	-9.209E-03	0.000E+00
1.000E+02	-2.393E-03	0.000E+00	5.337E-02	-5.958E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-4.904E-02	-1.422E-02	0.000E+00
1.000E+02	-2.393E-03	0.000E+00	5.337E-02	-5.958E-07	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-4.958E-02	-1.438E-02	0.000E+00
1.021E+02	-2.493E-03	0.000E+00	5.336E-02	-1.486E-06	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-7.502E-02	-2.175E-02	0.000E+00
1.042E+02	-2.592E-03	0.000E+00	5.336E-02	-2.743E-06	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-1.006E-01	-2.917E-02	0.000E+00

1.042E+02	-2.592E-03	0.000E+00	5.336E-02	-2.743E-06	1.200E+02	4.795E+02	0.000E+00	-1.024E-01	-2.969E-02	0.000E+00
1.062E+02	-2.691E-03	0.000E+00	5.335E-02	-4.378E-06	1.200E+02	4.794E+02	0.000E+00	-1.259E-01	-3.652E-02	0.000E+00
1.083E+02	-2.791E-03	0.000E+00	5.334E-02	-6.348E-06	1.199E+02	4.793E+02	0.000E+00	-1.495E-01	-4.335E-02	0.000E+00
1.083E+02	-2.791E-03	0.000E+00	5.334E-02	-6.348E-06	1.200E+02	4.793E+02	0.000E+00	-1.545E-01	-4.481E-02	0.000E+00
1.104E+02	-2.889E-03	0.000E+00	5.333E-02	-8.510E-06	1.200E+02	4.792E+02	0.000E+00	-1.478E-01	-4.285E-02	0.000E+00
1.125E+02	-2.988E-03	0.000E+00	5.331E-02	-1.058E-05	1.199E+02	4.790E+02	0.000E+00	-1.410E-01	-4.088E-02	0.000E+00
1.125E+02	-2.988E-03	0.000E+00	5.331E-02	-1.058E-05	1.200E+02	4.790E+02	0.000E+00	-1.498E-01	-4.343E-02	0.000E+00
1.146E+02	-3.087E-03	0.000E+00	5.328E-02	-1.207E-05	1.200E+02	4.788E+02	0.000E+00	-5.950E-02	-1.725E-02	0.000E+00
1.167E+02	-3.185E-03	0.000E+00	5.326E-02	-1.228E-05	1.199E+02	4.786E+02	0.000E+00	3.061E-02	8.876E-03	0.000E+00
1.167E+02	-3.185E-03	0.000E+00	5.326E-02	-1.228E-05	1.200E+02	4.786E+02	0.000E+00	2.060E-02	5.975E-03	0.000E+00
1.187E+02	-3.283E-03	0.000E+00	5.323E-02	-1.021E-05	1.200E+02	4.784E+02	0.000E+00	2.683E-01	7.781E-02	0.000E+00
1.208E+02	-3.381E-03	0.000E+00	5.322E-02	-4.600E-06	1.199E+02	4.782E+02	0.000E+00	5.162E-01	1.497E-01	0.000E+00
1.208E+02	-3.381E-03	0.000E+00	5.322E-02	-4.600E-06	1.199E+02	4.783E+02	0.000E+00	5.125E-01	1.486E-01	0.000E+00
1.229E+02	-3.478E-03	0.000E+00	5.322E-02	6.051E-06	1.199E+02	4.783E+02	0.000E+00	9.764E-01	2.832E-01	0.000E+00
1.250E+02	-3.576E-03	0.000E+00	5.325E-02	2.335E-05	1.200E+02	4.785E+02	0.000E+00	1.441E+00	4.178E-01	0.000E+00
1.250E+02	-3.576E-03	0.000E+00	5.325E-02	2.335E-05	1.197E+02	4.784E+02	0.000E+00	1.460E+00	4.233E-01	0.000E+00
1.271E+02	-3.675E-03	0.000E+00	5.332E-02	4.877E-05	1.199E+02	4.791E+02	0.000E+00	2.092E+00	6.068E-01	0.000E+00
1.292E+02	-3.774E-03	0.000E+00	5.346E-02	8.324E-05	1.203E+02	4.804E+02	0.000E+00	2.725E+00	7.903E-01	0.000E+00
1.292E+02	-3.774E-03	0.000E+00	5.346E-02	8.324E-05	1.193E+02	4.801E+02	0.000E+00	2.794E+00	8.101E-01	0.000E+00
1.312E+02	-3.878E-03	0.000E+00	5.367E-02	1.267E-04	1.199E+02	4.821E+02	0.000E+00	3.274E+00	9.495E-01	0.000E+00
1.333E+02	-3.981E-03	0.000E+00	5.399E-02	1.769E-04	1.208E+02	4.849E+02	0.000E+00	3.755E+00	1.089E+00	0.000E+00
1.333E+02	-3.981E-03	0.000E+00	5.399E-02	1.769E-04	1.188E+02	4.844E+02	0.000E+00	3.900E+00	1.131E+00	0.000E+00
1.354E+02	-4.094E-03	0.000E+00	5.441E-02	2.293E-04	1.199E+02	4.882E+02	0.000E+00	3.421E+00	9.922E-01	0.000E+00
1.375E+02	-4.207E-03	0.000E+00	5.494E-02	2.749E-04	1.213E+02	4.930E+02	0.000E+00	2.943E+00	8.534E-01	0.000E+00
1.375E+02	-4.207E-03	0.000E+00	5.494E-02	2.749E-04	1.184E+02	4.922E+02	0.000E+00	3.168E+00	9.187E-01	0.000E+00
1.396E+02	-4.334E-03	0.000E+00	5.555E-02	2.997E-04	1.200E+02	4.977E+02	0.000E+00	2.973E-01	8.622E-02	0.000E+00
1.417E+02	-4.461E-03	0.000E+00	5.616E-02	2.834E-04	1.216E+02	5.033E+02	0.000E+00	-2.573E+00	-7.462E-01	0.000E+00
1.417E+02	-4.461E-03	0.000E+00	5.616E-02	2.834E-04	1.187E+02	5.024E+02	0.000E+00	-2.341E+00	-6.789E-01	0.000E+00
1.437E+02	-4.602E-03	0.000E+00	5.668E-02	1.992E-04	1.201E+02	5.072E+02	0.000E+00	-9.428E+00	-2.734E+00	0.000E+00
1.458E+02	-4.742E-03	0.000E+00	5.692E-02	1.352E-05	1.207E+02	5.093E+02	0.000E+00	-1.652E+01	-4.790E+00	0.000E+00
1.458E+02	-4.742E-03	0.000E+00	5.692E-02	1.352E-05	1.210E+02	5.094E+02	0.000E+00	-1.651E+01	-4.787E+00	0.000E+00
1.479E+02	-4.881E-03	0.000E+00	5.664E-02	-3.114E-04	1.203E+02	5.069E+02	0.000E+00	-2.891E+01	-8.384E+00	0.000E+00
1.500E+02	-5.020E-03	0.000E+00	5.550E-02	-8.139E-04	1.174E+02	4.965E+02	0.000E+00	-4.131E+01	-1.198E+01	0.000E+00
1.500E+02	-5.020E-03	0.000E+00	5.550E-02	-8.139E-04	1.184E+02	4.818E+02	0.000E+00	-4.223E+01	-2.619E+02	0.000E+00
1.510E+02	-4.857E-03	0.000E+00	5.472E-02	-6.769E-04	1.199E+02	4.762E+02	0.000E+00	-4.939E+01	-2.600E+02	0.000E+00
1.521E+02	-4.693E-03	0.000E+00	5.408E-02	-5.523E-04	1.217E+02	4.717E+02	0.000E+00	-5.681E+01	-2.588E+02	0.000E+00
1.521E+02	-4.693E-03	0.000E+00	5.408E-02	-5.523E-04	1.183E+02	4.713E+02	0.000E+00	-5.685E+01	-2.584E+02	0.000E+00
1.531E+02	-4.540E-03	0.000E+00	5.357E-02	-4.428E-04	1.199E+02	4.677E+02	0.000E+00	-6.365E+01	-2.576E+02	0.000E+00
1.542E+02	-4.387E-03	0.000E+00	5.316E-02	-3.444E-04	1.218E+02	4.652E+02	0.000E+00	-7.067E+01	-2.574E+02	0.000E+00
1.542E+02	-4.387E-03	0.000E+00	5.316E-02	-3.444E-04	1.183E+02	4.647E+02	0.000E+00	-7.068E+01	-2.570E+02	0.000E+00
1.552E+02	-4.244E-03	0.000E+00	5.284E-02	-2.598E-04	1.199E+02	4.628E+02	0.000E+00	-7.684E+01	-2.570E+02	0.000E+00
1.562E+02	-4.102E-03	0.000E+00	5.261E-02	-1.849E-04	1.217E+02	4.617E+02	0.000E+00	-8.317E+01	-2.574E+02	0.000E+00
1.562E+02	-4.102E-03	0.000E+00	5.261E-02	-1.849E-04	1.184E+02	4.612E+02	0.000E+00	-8.316E+01	-2.570E+02	0.000E+00
1.573E+02	-3.970E-03	0.000E+00	5.245E-02	-1.222E-04	1.199E+02	4.605E+02	0.000E+00	-8.852E+01	-2.575E+02	0.000E+00
1.583E+02	-3.838E-03	0.000E+00	5.236E-02	-6.746E-05	1.216E+02	4.604E+02	0.000E+00	-9.399E+01	-2.582E+02	0.000E+00
1.583E+02	-3.838E-03	0.000E+00	5.236E-02	-6.746E-05	1.186E+02	4.600E+02	0.000E+00	-9.399E+01	-2.579E+02	0.000E+00
1.594E+02	-3.715E-03	0.000E+00	5.231E-02	-2.300E-05	1.200E+02	4.602E+02	0.000E+00	-9.848E+01	-2.587E+02	0.000E+00
1.604E+02	-3.592E-03	0.000E+00	5.230E-02	1.493E-05	1.214E+02	4.607E+02	0.000E+00	-1.031E+02	-2.597E+02	0.000E+00
1.604E+02	-3.592E-03	0.000E+00	5.230E-02	1.493E-05	1.188E+02	4.604E+02	0.000E+00	-1.030E+02	-2.594E+02	0.000E+00
1.615E+02	-3.477E-03	0.000E+00	5.234E-02	4.450E-05	1.200E+02	4.611E+02	0.000E+00	-1.067E+02	-2.603E+02	0.000E+00
1.625E+02	-3.362E-03	0.000E+00	5.240E-02	6.894E-05	1.212E+02	4.621E+02	0.000E+00	-1.104E+02	-2.614E+02	0.000E+00
1.625E+02	-3.362E-03	0.000E+00	5.240E-02	6.894E-05	1.190E+02	4.618E+02	0.000E+00	-1.104E+02	-2.612E+02	0.000E+00
1.635E+02	-3.254E-03	0.000E+00	5.248E-02	8.677E-05	1.200E+02	4.628E+02	0.000E+00	-1.132E+02	-2.622E+02	0.000E+00
1.646E+02	-3.145E-03	0.000E+00	5.258E-02	1.008E-04	1.210E+02	4.640E+02	0.000E+00	-1.161E+02	-2.632E+02	0.000E+00
1.646E+02	-3.145E-03	0.000E+00	5.258E-02	1.008E-04	1.192E+02	4.638E+02	0.000E+00	-1.161E+02	-2.630E+02	0.000E+00
1.656E+02	-3.043E-03	0.000E+00	5.269E-02	1.097E-04	1.200E+02	4.650E+02	0.000E+00	-1.183E+02	-2.640E+02	0.000E+00
1.667E+02	-2.940E-03	0.000E+00	5.280E-02	1.159E-04	1.208E+02	4.663E+02	0.000E+00	-1.204E+02	-2.650E+02	0.000E+00

1.667E+02	-2.940E-03	0.000E+00	5.280E-02	1.159E-04	1.194E+02	4.661E+02	0.000E+00	-1.204E+02	-2.648E+02	0.000E+00
1.677E+02	-2.841E-03	0.000E+00	5.292E-02	1.184E-04	1.200E+02	4.673E+02	0.000E+00	-1.220E+02	-2.657E+02	0.000E+00
1.687E+02	-2.743E-03	0.000E+00	5.305E-02	1.189E-04	1.206E+02	4.686E+02	0.000E+00	-1.235E+02	-2.666E+02	0.000E+00
1.687E+02	-2.743E-03	0.000E+00	5.305E-02	1.189E-04	1.195E+02	4.684E+02	0.000E+00	-1.235E+02	-2.665E+02	0.000E+00
1.698E+02	-2.647E-03	0.000E+00	5.317E-02	1.170E-04	1.200E+02	4.696E+02	0.000E+00	-1.246E+02	-2.673E+02	0.000E+00
1.708E+02	-2.552E-03	0.000E+00	5.329E-02	1.138E-04	1.204E+02	4.707E+02	0.000E+00	-1.257E+02	-2.680E+02	0.000E+00
1.708E+02	-2.552E-03	0.000E+00	5.329E-02	1.138E-04	1.196E+02	4.706E+02	0.000E+00	-1.256E+02	-2.680E+02	0.000E+00
1.719E+02	-2.459E-03	0.000E+00	5.341E-02	1.090E-04	1.200E+02	4.717E+02	0.000E+00	-1.263E+02	-2.686E+02	0.000E+00
1.729E+02	-2.366E-03	0.000E+00	5.352E-02	1.036E-04	1.203E+02	4.727E+02	0.000E+00	-1.270E+02	-2.693E+02	0.000E+00
1.729E+02	-2.366E-03	0.000E+00	5.352E-02	1.036E-04	1.197E+02	4.727E+02	0.000E+00	-1.270E+02	-2.692E+02	0.000E+00
1.740E+02	-2.275E-03	0.000E+00	5.362E-02	9.719E-05	1.200E+02	4.736E+02	0.000E+00	-1.273E+02	-2.697E+02	0.000E+00
1.750E+02	-2.184E-03	0.000E+00	5.372E-02	9.056E-05	1.202E+02	4.745E+02	0.000E+00	-1.277E+02	-2.703E+02	0.000E+00
1.750E+02	-2.184E-03	0.000E+00	5.372E-02	9.056E-05	1.198E+02	4.744E+02	0.000E+00	-1.277E+02	-2.702E+02	0.000E+00
1.760E+02	-2.093E-03	0.000E+00	5.381E-02	8.351E-05	1.200E+02	4.752E+02	0.000E+00	-1.278E+02	-2.707E+02	0.000E+00
1.771E+02	-2.003E-03	0.000E+00	5.390E-02	7.651E-05	1.201E+02	4.759E+02	0.000E+00	-1.280E+02	-2.711E+02	0.000E+00
1.771E+02	-2.003E-03	0.000E+00	5.390E-02	7.651E-05	1.199E+02	4.759E+02	0.000E+00	-1.280E+02	-2.710E+02	0.000E+00
1.781E+02	-1.913E-03	0.000E+00	5.397E-02	6.947E-05	1.200E+02	4.765E+02	0.000E+00	-1.280E+02	-2.714E+02	0.000E+00
1.792E+02	-1.823E-03	0.000E+00	5.404E-02	6.266E-05	1.200E+02	4.771E+02	0.000E+00	-1.279E+02	-2.717E+02	0.000E+00
1.792E+02	-1.823E-03	0.000E+00	5.404E-02	6.266E-05	1.199E+02	4.771E+02	0.000E+00	-1.279E+02	-2.717E+02	0.000E+00
1.802E+02	-1.734E-03	0.000E+00	5.410E-02	5.608E-05	1.200E+02	4.776E+02	0.000E+00	-1.278E+02	-2.719E+02	0.000E+00
1.812E+02	-1.644E-03	0.000E+00	5.416E-02	4.983E-05	1.200E+02	4.781E+02	0.000E+00	-1.277E+02	-2.721E+02	0.000E+00
1.812E+02	-1.644E-03	0.000E+00	5.416E-02	4.983E-05	1.200E+02	4.781E+02	0.000E+00	-1.277E+02	-2.721E+02	0.000E+00
1.823E+02	-1.555E-03	0.000E+00	5.421E-02	4.396E-05	1.200E+02	4.785E+02	0.000E+00	-1.275E+02	-2.723E+02	0.000E+00
1.833E+02	-1.465E-03	0.000E+00	5.425E-02	3.848E-05	1.199E+02	4.788E+02	0.000E+00	-1.273E+02	-2.724E+02	0.000E+00
1.833E+02	-1.465E-03	0.000E+00	5.425E-02	3.848E-05	1.200E+02	4.788E+02	0.000E+00	-1.273E+02	-2.724E+02	0.000E+00
1.844E+02	-1.375E-03	0.000E+00	5.429E-02	3.346E-05	1.200E+02	4.791E+02	0.000E+00	-1.271E+02	-2.726E+02	0.000E+00
1.854E+02	-1.285E-03	0.000E+00	5.432E-02	2.883E-05	1.199E+02	4.793E+02	0.000E+00	-1.269E+02	-2.727E+02	0.000E+00
1.854E+02	-1.285E-03	0.000E+00	5.432E-02	2.883E-05	1.200E+02	4.794E+02	0.000E+00	-1.268E+02	-2.727E+02	0.000E+00
1.865E+02	-1.195E-03	0.000E+00	5.435E-02	2.469E-05	1.200E+02	4.796E+02	0.000E+00	-1.266E+02	-2.727E+02	0.000E+00
1.875E+02	-1.105E-03	0.000E+00	5.437E-02	2.093E-05	1.199E+02	4.797E+02	0.000E+00	-1.264E+02	-2.728E+02	0.000E+00
1.875E+02	-1.105E-03	0.000E+00	5.437E-02	2.093E-05	1.200E+02	4.797E+02	0.000E+00	-1.264E+02	-2.728E+02	0.000E+00
1.885E+02	-1.015E-03	0.000E+00	5.439E-02	1.764E-05	1.200E+02	4.799E+02	0.000E+00	-1.262E+02	-2.729E+02	0.000E+00
1.896E+02	-9.247E-04	0.000E+00	5.441E-02	1.468E-05	1.199E+02	4.800E+02	0.000E+00	-1.260E+02	-2.729E+02	0.000E+00
1.896E+02	-9.247E-04	0.000E+00	5.441E-02	1.468E-05	1.200E+02	4.800E+02	0.000E+00	-1.260E+02	-2.729E+02	0.000E+00
1.906E+02	-8.341E-04	0.000E+00	5.442E-02	1.214E-05	1.200E+02	4.801E+02	0.000E+00	-1.258E+02	-2.729E+02	0.000E+00
1.917E+02	-7.435E-04	0.000E+00	5.443E-02	9.897E-06	1.199E+02	4.802E+02	0.000E+00	-1.256E+02	-2.729E+02	0.000E+00
1.917E+02	-7.435E-04	0.000E+00	5.443E-02	9.897E-06	1.200E+02	4.802E+02	0.000E+00	-1.256E+02	-2.729E+02	0.000E+00
1.927E+02	-6.526E-04	0.000E+00	5.444E-02	7.994E-06	1.200E+02	4.803E+02	0.000E+00	-1.255E+02	-2.729E+02	0.000E+00
1.937E+02	-5.618E-04	0.000E+00	5.445E-02	6.327E-06	1.199E+02	4.803E+02	0.000E+00	-1.253E+02	-2.729E+02	0.000E+00
1.937E+02	-5.618E-04	0.000E+00	5.445E-02	6.327E-06	1.200E+02	4.803E+02	0.000E+00	-1.253E+02	-2.730E+02	0.000E+00
1.948E+02	-4.707E-04	0.000E+00	5.446E-02	4.920E-06	1.200E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.252E+02	-2.730E+02	0.000E+00
1.958E+02	-3.796E-04	0.000E+00	5.446E-02	3.690E-06	1.199E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.251E+02	-2.729E+02	0.000E+00
1.958E+02	-3.796E-04	0.000E+00	5.446E-02	3.690E-06	1.200E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.251E+02	-2.730E+02	0.000E+00
1.969E+02	-2.884E-04	0.000E+00	5.446E-02	2.639E-06	1.200E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.251E+02	-2.730E+02	0.000E+00
1.979E+02	-1.971E-04	0.000E+00	5.447E-02	1.685E-06	1.199E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.250E+02	-2.730E+02	0.000E+00
1.979E+02	-1.971E-04	0.000E+00	5.447E-02	1.685E-06	1.200E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.250E+02	-2.730E+02	0.000E+00
1.990E+02	-1.058E-04	0.000E+00	5.447E-02	8.253E-07	1.200E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.250E+02	-2.730E+02	0.000E+00
2.000E+02	-1.453E-05	0.000E+00	5.447E-02	-1.198E-09	1.200E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.250E+02	-2.730E+02	0.000E+00
2.000E+02	-1.453E-05	0.000E+00	5.447E-02	-1.198E-09	1.200E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.250E+02	-2.730E+02	0.000E+00
2.010E+02	7.678E-05	0.000E+00	5.447E-02	-8.267E-07	1.200E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.250E+02	-2.730E+02	0.000E+00
2.021E+02	1.681E-04	0.000E+00	5.447E-02	-1.686E-06	1.200E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.250E+02	-2.730E+02	0.000E+00
2.021E+02	1.681E-04	0.000E+00	5.447E-02	-1.686E-06	1.199E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.250E+02	-2.730E+02	0.000E+00
2.031E+02	2.593E-04	0.000E+00	5.446E-02	-2.637E-06	1.200E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.251E+02	-2.730E+02	0.000E+00
2.042E+02	3.505E-04	0.000E+00	5.446E-02	-3.689E-06	1.200E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.251E+02	-2.730E+02	0.000E+00
2.042E+02	3.505E-04	0.000E+00	5.446E-02	-3.689E-06	1.199E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.251E+02	-2.729E+02	0.000E+00
2.052E+02	4.416E-04	0.000E+00	5.446E-02	-4.920E-06	1.200E+02	4.804E+02	0.000E+00	-1.252E+02	-2.730E+02	0.000E+00
2.062E+02	5.327E-04	0.000E+00	5.445E-02	-6.326E-06	1.200E+02	4.803E+02	0.000E+00	-1.253E+02	-2.730E+02	0.000E+00

2.062E+02	5.327E-04	0.000E+00	5.445E-02	-6.326E-06	1.199E+02	4.803E+02	0.000E+00	-1.253E+02	-2.729E+02	0.000E+00
2.073E+02	6.236E-04	0.000E+00	5.444E-02	-7.995E-06	1.200E+02	4.803E+02	0.000E+00	-1.255E+02	-2.729E+02	0.000E+00
2.083E+02	7.145E-04	0.000E+00	5.443E-02	-9.896E-06	1.200E+02	4.802E+02	0.000E+00	-1.256E+02	-2.729E+02	0.000E+00
2.083E+02	7.145E-04	0.000E+00	5.443E-02	-9.896E-06	1.199E+02	4.802E+02	0.000E+00	-1.256E+02	-2.729E+02	0.000E+00
2.094E+02	8.051E-04	0.000E+00	5.442E-02	-1.214E-05	1.200E+02	4.801E+02	0.000E+00	-1.258E+02	-2.729E+02	0.000E+00
2.104E+02	8.957E-04	0.000E+00	5.441E-02	-1.468E-05	1.200E+02	4.800E+02	0.000E+00	-1.260E+02	-2.729E+02	0.000E+00
2.104E+02	8.957E-04	0.000E+00	5.441E-02	-1.468E-05	1.199E+02	4.800E+02	0.000E+00	-1.260E+02	-2.729E+02	0.000E+00
2.115E+02	9.860E-04	0.000E+00	5.439E-02	-1.764E-05	1.200E+02	4.799E+02	0.000E+00	-1.262E+02	-2.729E+02	0.000E+00
2.125E+02	1.076E-03	0.000E+00	5.437E-02	-2.093E-05	1.200E+02	4.798E+02	0.000E+00	-1.264E+02	-2.728E+02	0.000E+00
2.125E+02	1.076E-03	0.000E+00	5.437E-02	-2.093E-05	1.199E+02	4.797E+02	0.000E+00	-1.264E+02	-2.728E+02	0.000E+00
2.135E+02	1.166E-03	0.000E+00	5.435E-02	-2.469E-05	1.200E+02	4.796E+02	0.000E+00	-1.266E+02	-2.727E+02	0.000E+00
2.146E+02	1.256E-03	0.000E+00	5.432E-02	-2.883E-05	1.200E+02	4.794E+02	0.000E+00	-1.269E+02	-2.727E+02	0.000E+00
2.146E+02	1.256E-03	0.000E+00	5.432E-02	-2.883E-05	1.199E+02	4.793E+02	0.000E+00	-1.269E+02	-2.727E+02	0.000E+00
2.156E+02	1.346E-03	0.000E+00	5.429E-02	-3.345E-05	1.200E+02	4.791E+02	0.000E+00	-1.271E+02	-2.726E+02	0.000E+00
2.167E+02	1.436E-03	0.000E+00	5.425E-02	-3.847E-05	1.200E+02	4.788E+02	0.000E+00	-1.273E+02	-2.724E+02	0.000E+00
2.167E+02	1.436E-03	0.000E+00	5.425E-02	-3.847E-05	1.199E+02	4.788E+02	0.000E+00	-1.273E+02	-2.724E+02	0.000E+00
2.177E+02	1.526E-03	0.000E+00	5.421E-02	-4.395E-05	1.200E+02	4.785E+02	0.000E+00	-1.275E+02	-2.723E+02	0.000E+00
2.187E+02	1.615E-03	0.000E+00	5.416E-02	-4.983E-05	1.200E+02	4.781E+02	0.000E+00	-1.277E+02	-2.721E+02	0.000E+00
2.187E+02	1.615E-03	0.000E+00	5.416E-02	-4.983E-05	1.200E+02	4.781E+02	0.000E+00	-1.277E+02	-2.721E+02	0.000E+00
2.198E+02	1.705E-03	0.000E+00	5.410E-02	-5.607E-05	1.200E+02	4.776E+02	0.000E+00	-1.278E+02	-2.719E+02	0.000E+00
2.208E+02	1.794E-03	0.000E+00	5.404E-02	-6.266E-05	1.199E+02	4.771E+02	0.000E+00	-1.279E+02	-2.717E+02	0.000E+00
2.208E+02	1.794E-03	0.000E+00	5.404E-02	-6.266E-05	1.200E+02	4.771E+02	0.000E+00	-1.279E+02	-2.717E+02	0.000E+00
2.219E+02	1.884E-03	0.000E+00	5.397E-02	-6.947E-05	1.200E+02	4.765E+02	0.000E+00	-1.280E+02	-2.714E+02	0.000E+00
2.229E+02	1.974E-03	0.000E+00	5.390E-02	-7.651E-05	1.199E+02	4.759E+02	0.000E+00	-1.280E+02	-2.710E+02	0.000E+00
2.229E+02	1.974E-03	0.000E+00	5.390E-02	-7.651E-05	1.201E+02	4.759E+02	0.000E+00	-1.280E+02	-2.711E+02	0.000E+00
2.240E+02	2.064E-03	0.000E+00	5.381E-02	-8.351E-05	1.200E+02	4.752E+02	0.000E+00	-1.278E+02	-2.707E+02	0.000E+00
2.250E+02	2.155E-03	0.000E+00	5.372E-02	-9.055E-05	1.198E+02	4.744E+02	0.000E+00	-1.277E+02	-2.702E+02	0.000E+00
2.250E+02	2.155E-03	0.000E+00	5.372E-02	-9.055E-05	1.202E+02	4.745E+02	0.000E+00	-1.277E+02	-2.703E+02	0.000E+00
2.260E+02	2.246E-03	0.000E+00	5.362E-02	-9.719E-05	1.200E+02	4.736E+02	0.000E+00	-1.273E+02	-2.697E+02	0.000E+00
2.271E+02	2.337E-03	0.000E+00	5.352E-02	-1.036E-04	1.197E+02	4.727E+02	0.000E+00	-1.270E+02	-2.692E+02	0.000E+00
2.271E+02	2.337E-03	0.000E+00	5.352E-02	-1.036E-04	1.203E+02	4.727E+02	0.000E+00	-1.270E+02	-2.693E+02	0.000E+00
2.281E+02	2.430E-03	0.000E+00	5.341E-02	-1.090E-04	1.200E+02	4.717E+02	0.000E+00	-1.263E+02	-2.686E+02	0.000E+00
2.292E+02	2.523E-03	0.000E+00	5.329E-02	-1.138E-04	1.196E+02	4.706E+02	0.000E+00	-1.256E+02	-2.680E+02	0.000E+00
2.292E+02	2.523E-03	0.000E+00	5.329E-02	-1.138E-04	1.204E+02	4.707E+02	0.000E+00	-1.257E+02	-2.681E+02	0.000E+00
2.302E+02	2.618E-03	0.000E+00	5.317E-02	-1.170E-04	1.200E+02	4.696E+02	0.000E+00	-1.246E+02	-2.673E+02	0.000E+00
2.312E+02	2.714E-03	0.000E+00	5.305E-02	-1.189E-04	1.195E+02	4.684E+02	0.000E+00	-1.235E+02	-2.665E+02	0.000E+00
2.312E+02	2.714E-03	0.000E+00	5.305E-02	-1.189E-04	1.206E+02	4.686E+02	0.000E+00	-1.235E+02	-2.666E+02	0.000E+00
2.323E+02	2.812E-03	0.000E+00	5.292E-02	-1.184E-04	1.200E+02	4.673E+02	0.000E+00	-1.220E+02	-2.657E+02	0.000E+00
2.333E+02	2.911E-03	0.000E+00	5.280E-02	-1.159E-04	1.193E+02	4.661E+02	0.000E+00	-1.204E+02	-2.648E+02	0.000E+00
2.333E+02	2.911E-03	0.000E+00	5.280E-02	-1.159E-04	1.208E+02	4.663E+02	0.000E+00	-1.204E+02	-2.650E+02	0.000E+00
2.344E+02	3.013E-03	0.000E+00	5.269E-02	-1.097E-04	1.200E+02	4.650E+02	0.000E+00	-1.183E+02	-2.640E+02	0.000E+00
2.354E+02	3.116E-03	0.000E+00	5.258E-02	-1.008E-04	1.192E+02	4.638E+02	0.000E+00	-1.161E+02	-2.630E+02	0.000E+00
2.354E+02	3.116E-03	0.000E+00	5.258E-02	-1.008E-04	1.210E+02	4.640E+02	0.000E+00	-1.161E+02	-2.632E+02	0.000E+00
2.365E+02	3.224E-03	0.000E+00	5.248E-02	-8.678E-05	1.200E+02	4.628E+02	0.000E+00	-1.132E+02	-2.622E+02	0.000E+00
2.375E+02	3.333E-03	0.000E+00	5.240E-02	-6.894E-05	1.190E+02	4.618E+02	0.000E+00	-1.104E+02	-2.612E+02	0.000E+00
2.375E+02	3.333E-03	0.000E+00	5.240E-02	-6.894E-05	1.212E+02	4.621E+02	0.000E+00	-1.104E+02	-2.614E+02	0.000E+00
2.385E+02	3.448E-03	0.000E+00	5.234E-02	-4.449E-05	1.200E+02	4.611E+02	0.000E+00	-1.067E+02	-2.603E+02	0.000E+00
2.396E+02	3.563E-03	0.000E+00	5.230E-02	-1.493E-05	1.188E+02	4.604E+02	0.000E+00	-1.030E+02	-2.594E+02	0.000E+00
2.396E+02	3.563E-03	0.000E+00	5.230E-02	-1.493E-05	1.214E+02	4.607E+02	0.000E+00	-1.031E+02	-2.597E+02	0.000E+00
2.406E+02	3.686E-03	0.000E+00	5.231E-02	2.300E-05	1.200E+02	4.602E+02	0.000E+00	-9.848E+01	-2.587E+02	0.000E+00
2.417E+02	3.809E-03	0.000E+00	5.236E-02	6.746E-05	1.186E+02	4.600E+02	0.000E+00	-9.399E+01	-2.579E+02	0.000E+00
2.417E+02	3.809E-03	0.000E+00	5.236E-02	6.746E-05	1.216E+02	4.604E+02	0.000E+00	-9.399E+01	-2.582E+02	0.000E+00
2.427E+02	3.941E-03	0.000E+00	5.245E-02	1.222E-04	1.199E+02	4.605E+02	0.000E+00	-8.852E+01	-2.575E+02	0.000E+00
2.437E+02	4.073E-03	0.000E+00	5.261E-02	1.849E-04	1.184E+02	4.612E+02	0.000E+00	-8.317E+01	-2.570E+02	0.000E+00
2.437E+02	4.073E-03	0.000E+00	5.261E-02	1.849E-04	1.217E+02	4.617E+02	0.000E+00	-8.316E+01	-2.574E+02	0.000E+00
2.448E+02	4.215E-03	0.000E+00	5.284E-02	2.598E-04	1.199E+02	4.628E+02	0.000E+00	-7.684E+01	-2.570E+02	0.000E+00
2.458E+02	4.358E-03	0.000E+00	5.316E-02	3.444E-04	1.183E+02	4.647E+02	0.000E+00	-7.068E+01	-2.570E+02	0.000E+00







