

ANÁLISE DE UMA FERRAMENTA DE TREFILAÇÃO A FRIO ATRAVÉS DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS*

Mateus Sotelo Menezes¹

Juliana Zottis²

Vinicius Waechter Dias³

Alexandre da Silva Rocha³

Resumo

Uma ferramenta de trefilação deve suportar as altas tensões a que fica submetida durante o processo sem apresentar deformações. Para isso, o projeto da fieira deve iniciar com a escolha correta do material de fabricação e um dimensionamento adequado. Tais fatores podem minimizar a ocorrência de falhas, tanto na fieira, quanto no produto trefilado, assim como diminuir as tensões e desgaste na ferramenta. Portanto, este estudo visa analisar as regiões de uma ferramenta de trefilação industrial que estão sujeitas as maiores amplitudes de tensões ao longo de um processo de trefilação. O método de elementos finitos foi utilizado para simular a trefilação de uma barra de aço utilizando uma ferramenta de carbeto de tungstênio. O perfil da fieira foi inserido no software e então analisado em diferentes etapas ao longo do processo de trefilação e após o seu término. Observou-se a ocorrência de tensões compressivas superiores a 600 MPa na região de trabalho e as maiores tensões tratativas foram visualizadas na região de saída, com valores próximos a 200 MPa. A presença de tensões residuais não foi registrada na fieira, como esperado.

Palavras-chave: Trefilação à frio; Fieira; Tensão; Método dos elementos finitos.

COLD DRAWING TOOL ANALYSIS THROUGH FINITE ELEMENT METHOD

Abstract

A drawing die tool must support the high stresses during the process without presenting deformations. For this, the die tool design should start with the correct choice of manufacturing material and proper sizing. Such factors can minimize the occurrence of failures in the drawn product and in the die, as well as reduce stress and wear. Therefore, this study aims to analyze the regions of a industrial drawing tool which are subject to higher amplitudes of stress along a drawing process. The finite element method was used to simulate the drawing of a steel bar using a tungsten carbide die. The industrial die parameters were the input to create a simulation model and then analyzed at different steps along the drawing process and after its termination. The results shown the occurrence of compressive stresses higher than 600 MPa in the reducing zone. The maximum tensile stresses were observed in the back relief, with values close to 200 MPa. There is no residual stresses in the drawing die tool after the end of the process, as was expected.

Keywords: Cold drawing; Drawing die tool; Stress; Finite element method

¹ Graduando em engenharia metalúrgica, Laboratório de Transformação Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

² Engenheira mecânica, mestre e doutoranda em engenharia de minas, metalúrgica e de materiais, LdTM, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

³ Engenheiro metalúrgico, mestre e doutorando em engenharia de minas, metalúrgica e de materiais, LdTM, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

⁴ Engenheiro mecânico, mestre e doutor em engenharia de minas, metalúrgica e de materiais, professor do departamento de metalurgia, LdTM, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A trefilação é um processo de conformação mecânica caracterizado pela passagem de um fio-máquina através de uma ferramenta cônica (fieira), promovendo um encruamento da camada superficial do produto final e mantendo a ductilidade do núcleo. A matéria-prima é tracionada na saída da fieira através de garras e, à medida que vai atravessando a ferramenta, sofre uma deformação plástica que ocasiona uma redução de sua seção transversal. Os esforços preponderantes na deformação são esforços de compressão resultantes da reação do material metálico com as paredes internas da fieira, determinando que a trefilação seja classificada como um processo por compressão indireta [1].

A Figura 1 apresenta um desenho esquemático da fieira com suas quatro regiões distintas: 1) região de entrada: promove o guiamento correto do fio-máquina e facilita o processo de lubrificação; 2) região de trabalho: causa a deformação plástica desejada no material, onde é aplicado o esforço de compressão e onde o atrito deve ser tal que minimize o desgaste da fieira. O ângulo de trefilação (2α) varia em função do diâmetro do fio e do grau de redução, sendo ligeiramente menor que o ângulo de entrada (2β); 3) região de calibração ou região cilíndrica: de comprimento H_c , é responsável pela definição da geometria e das dimensões do produto trefilado, fundamental para assegurar uma boa estabilidade dimensional; 4) região de saída: deve proporcionar uma saída livre do fio sem causar danos na sua superfície ou à fieira. Nesta região o produto sofre a recuperação elástica devido ao término dos esforços compressivos. O ângulo de saída (2γ) é contrário aos ângulos das regiões de entrada e de trabalho [1, 2, 3 e 4].

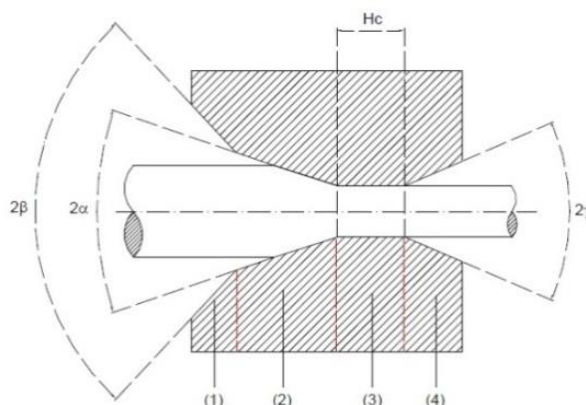


Figura 1. Desenho esquemático da ferramenta de trefilação. Adaptado de [3].

Os produtos com alta qualidade dimensional, superficial e geométrica que podem ser obtidos pela trefilação são provenientes de operações geralmente realizadas em temperatura ambiente, através do controle adequado da redução de seção transversal e por uma eficiente lubrificação. A região de trabalho apresenta três tensões atuantes, sendo estas as principais ao longo do processo: tensões trativas na direção axial devidas ao tracionamento da barra, tensões radiais compressivas devidas à reação da parede da fieira ao movimento da barra e tensões tangenciais devidas ao atrito causado pelo movimento da barra em contato com a fieira. O produto final pode, ainda, apresentar problemas de distorção do material, devidos ao acúmulo de tensões causado pelo afinamento e alongamento dos grãos.

A qualidade e o custo do produto final dependem da natureza da fieira. Atualmente, o principal processo de fabricação das ferramentas de trefilação envolve técnicas de metalurgia do pó com utilização de ligas de metal duro. Estes materiais apresentam

baixo coeficiente de transmissão de calor e, para diminuir esse efeito, as ferramentas são encapsuladas em suportes metálicos de aço que apresentam maior condutibilidade térmica (Figura 2). Seria inviável que todo o conjunto fosse produzido em metal duro devido à grande fragilidade deste material e o custo elevado de sua produção, o que torna necessária a utilização do encapsulamento. É importante que se mantenha uniforme a ação de desgaste da fieira, fator que pode ser favorecido criando-se um movimento rotativo relativo entre a fieira e o fio [1 e 5].

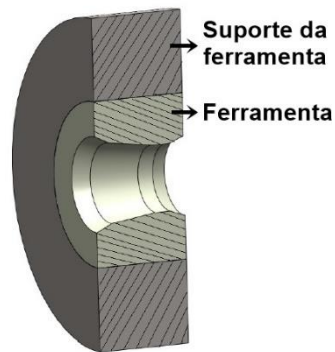


Figura 2. Ferramenta de metal duro acoplada a um suporte metálico. Adaptado de [4].

O método de elementos finitos é uma ferramenta para análises e otimizações nos processos de conformação mecânica, contribuindo para uma redução de custos e aumentando a qualidade de novos produtos na indústria. Através de simulações numéricas computacionais torna-se possível, por exemplo, verificar locais propícios ao aparecimento de defeitos nos produtos conformados, verificando pontos de concentração de tensões que poderiam levar a uma fragilização do material [1 e 2]. É o objetivo deste estudo, portanto, a análise comportamental das tensões presentes em uma fieira industrial durante um processo de trefilação através de simulação numérica via elementos finitos, destacando os aspectos relevantes do processo e analisando os pontos de maior amplitude de tensões.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para analisar o processo de trefilação, as simulações computacionais foram realizadas no software DEFORMTM através da criação de um modelo numérico que pode ser visualizado na Figura 3, com a indicação da direção da força de tração na barra e as dimensões da ferramenta. As Tabelas 1 e 2 apresentam as propriedades inseridas no software relacionadas à ferramenta de trefilação e aos parâmetros definidos para a simulação do processo. O material a ser trefilado é caracterizado como um aço AISI 1045, cujo diâmetro e comprimento iniciais são de, respectivamente, 21,463 e 200 mm. O processo considera uma temperatura de 20°C e uma redução de 11%.

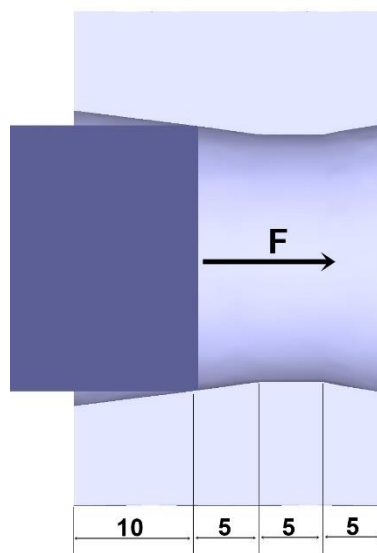


Figura 3. Modelo do processo de trefilação em estudo.

Tabela 1. Propriedades da ferramenta

Material	WC
Ângulo de trefilação	15°
Diâmetro da zona de calibração	20,250 mm

Tabela 2. Parâmetros do processo

Coefficiente de atrito (μ)	0,1
Velocidade de trefilação	1250 mm/s
Tipo da função de escoamento	Von Mises
Regra de endurecimento	Isotropic
Modo de simulação	Lagrangian Increm.
Solver	Sparse
Método de interação	Newton-Raphson

Levando-se em consideração o processo descrito, as tensões foram avaliadas em cinco diferentes etapas: 2, 4, 50 e 95% da trefilação da barra. Tais etapas podem ser visualizadas na Figura 4, sendo que o correspondente a 100% da trefilação não é mostrado, pois o conjunto está separado fisicamente e a peça livre de tensões.

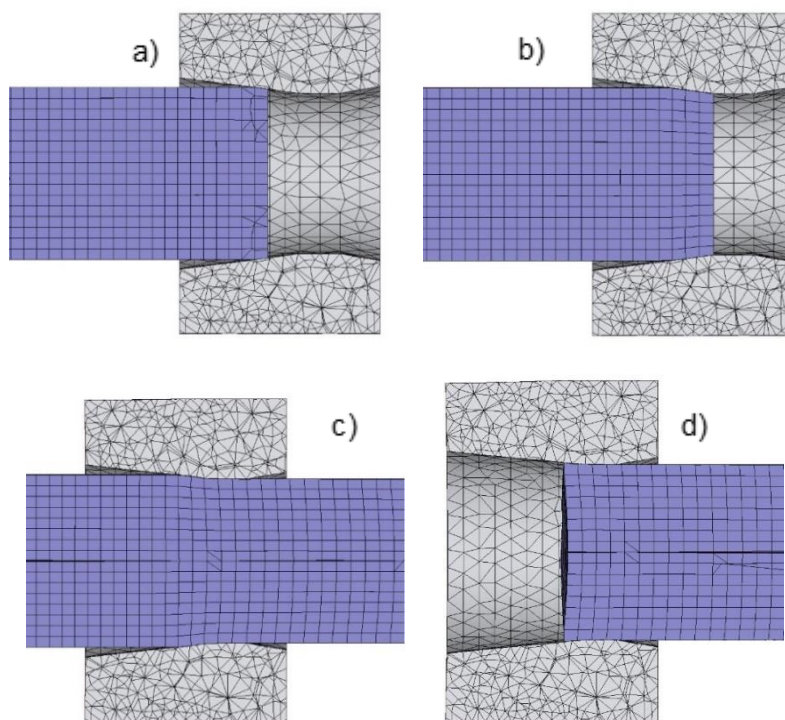


Figura 4. Etapas analisadas: a) 2%, b) 4%, c) 50% e d) 95% da trefilação da barra.

A Tabela 3 apresenta as posições de retirada dos dados da simulação numérica, destacando pontos importantes da ferramenta. A localização deste posicionamento pode ser visualizada na vista em corte da Figura 5. Foram retirados cerca de 20 pontos em cada linha e calculados os valores médios de tensão.

Tabela 3. Descrição das posições de análise de dados na simulação

Posicionamento	Descrição do posicionamento das regiões da fieira
Posição A	Início da região de entrada
Posição B	Início da região de trabalho
Posição C	Região de trabalho. 1,8 mm antes da região de calibração
Posição D	Início da região de calibração
Posição E	Final da região de calibração e início da região de saída
Posição F	Final da região de saída

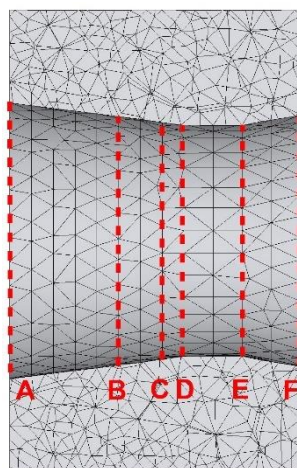


Figura 5. Pontos de retirada dos resultados da simulação numérica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados de acordo com as etapas do processo analisadas e os gráficos incluem tensão radial, axial e tangencial como função da posição de retirada dos dados.

3.1 Primeira etapa analisada: 2% da trefilação concluída

A etapa mostrada na Figura 6 apresenta os valores das tensões tangencial, axial e radial no momento em que a barra entra em contato com a fieira na região de trabalho. Na posição B os valores compressivos próximos a 150 MPa indicam o início da deformação do fio-máquina através do esforço aplicado pelas paredes da fieira. As demais posições analisadas nesta etapa apresentaram amplitudes de tensões inferiores devido à resposta do material ao esforço de compressão aplicado. A tensão radial nas posições A, C, D, E e F apresenta uma média de 42 MPa em tração.

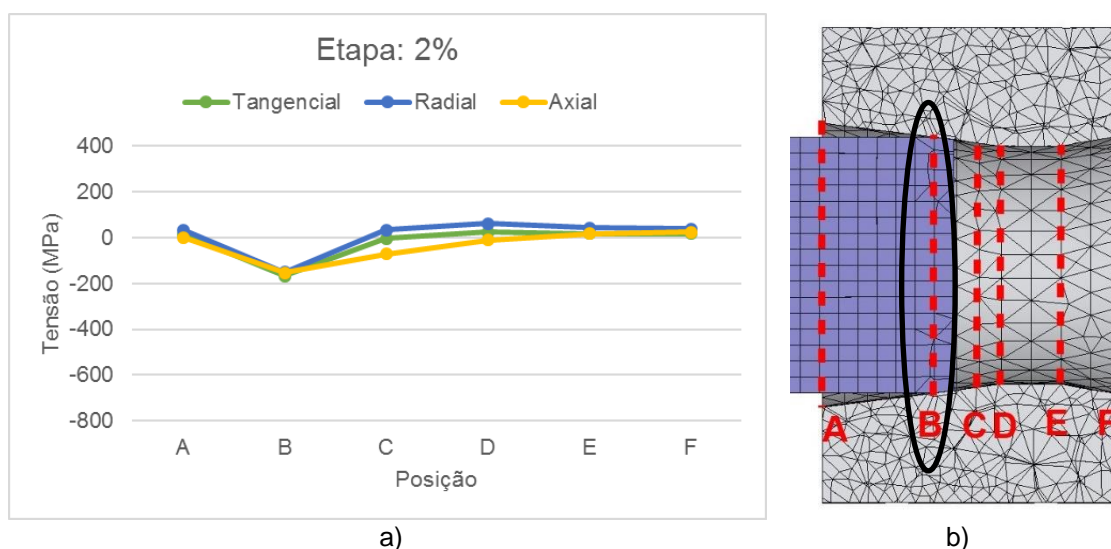


Figura 6. a) Tensões e b) identificação da posição de maior tensão compressiva (2% trefilado).

3.2 Segunda etapa analisada: 4% da trefilação concluída

Em relação à análise anterior, a amplitude de tensões visualizada na segunda etapa do processo (Figura 7) foi cerca de quatro vezes superior. A posição B continua exercendo pequenos esforços compressivos que agora são minimizados pela alta compressão observada na posição C. Valores médios de 613 MPa em compressão podem ser observados nesta posição. Embora a barra ainda não tenha atingido a posição D, pode ser observado também o surgimento de tensões compressivas nesta região. As posições E e F caracterizam a resposta do material aos esforços presentes, apresentando valores de tensões radiais trativas superiores a 150 MPa.

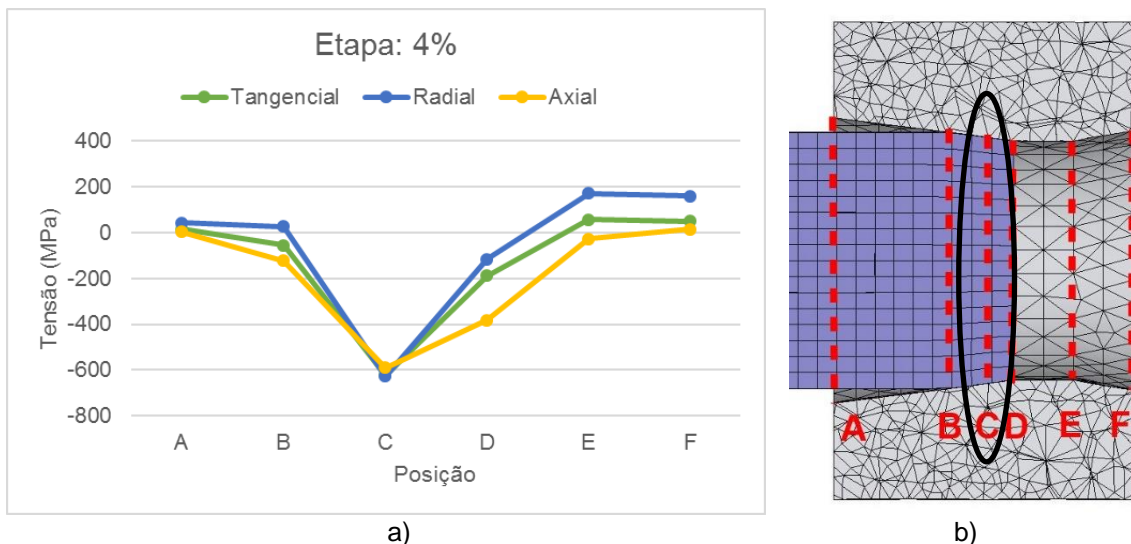


Figura 7. a) Tensões e b) identificação da posição de maior tensão compressiva (4% trefilado).

3.3 Terceira etapa analisada: 50% da trefilação concluída

Quando a ferramenta está trabalhando em sua totalidade, fator demonstrado na Figura 8, onde metade do processo havia sido concluído, as posições C, D e E apresentam tensões compressivas. A posição B, a qual apresentou um comportamento compressivo nas análises anteriores, agora apresenta um comportamento trativo. Isto pode ser explicado em função do somatório das tensões atuantes em todas as regiões da feira. A posição D, que caracteriza o início da região de calibração da feira, apresenta as maiores tensões compressivas nesta etapa do processo, com valores médios de 627 MPa. Os valores máximos em tração são pouco superiores a 200 MPa, presentes na direção radial das posições B e F.

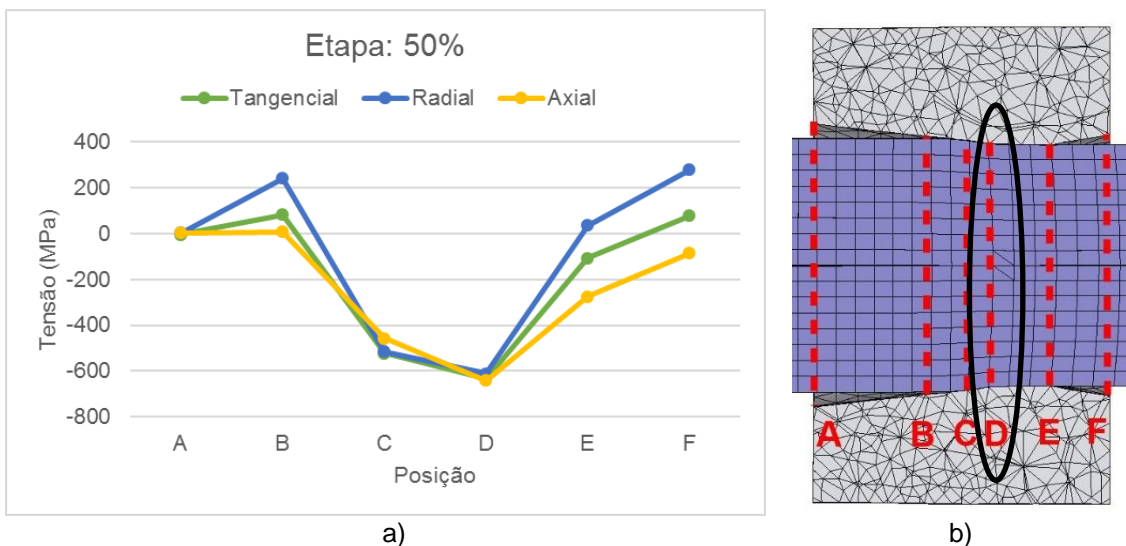


Figura 8. a) Tensões e b) identificação da posição de maior tensão compressiva (50% trefilado).

3.4 Quarta etapa do processo: 95% da trefilação concluída

Na etapa visualizada na Figura 9 verifica-se o final do processo, onde a barra trefilada está deixando a região de trabalho e as tensões compressivas tendem a diminuir. Esta redução já pode ser observada na posição C com valores próximos a zero ou pouco trativos, ao contrário da etapa anterior onde esta região atingiu 500 MPa em compressão. A tensão compressiva observada em D agora apresenta um valor médio de 283 MPa. Da mesma forma que na análise anterior, a posição F apresenta valores em tração superiores a 200 MPa. O retorno elástico que a barra apresenta na região de saída aliado à resposta da ferramenta aos esforços em outras posições explicam estes valores.

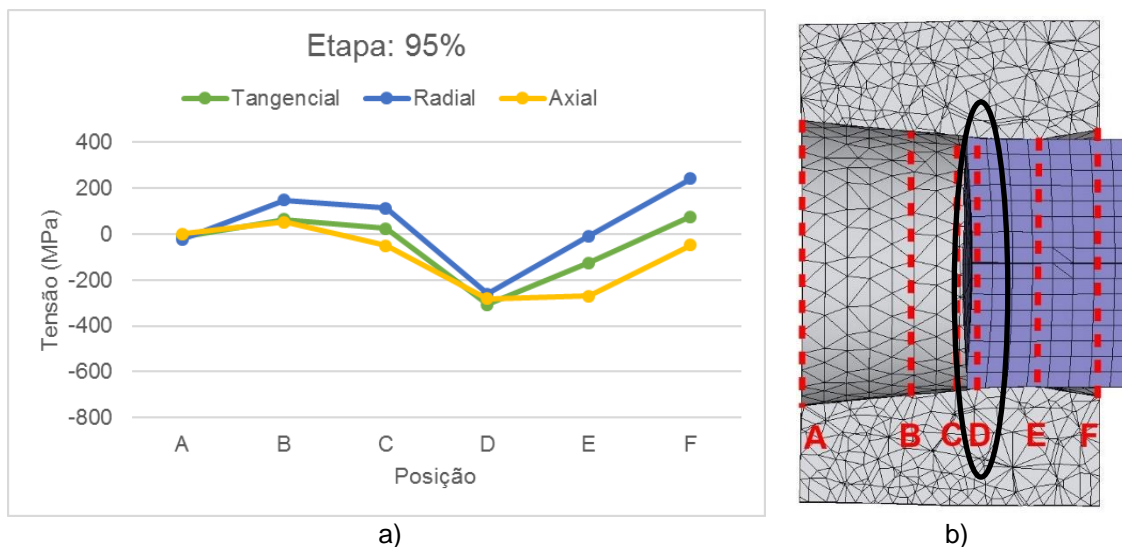


Figura 9. a) Tensões e b) identificação da posição de maior tensão compressiva (95% trefilado).

3.5 Quinta etapa do processo: 100% da trefilação concluída

A Figura 10 mostra que não há presença de tensões na ferramenta após o término do processo. A elevada resistência mecânica deste material impede que ocorra deformação plástica, logo não haverá tensões residuais após o descarregamento completo. Esta característica é requerida nas ferramentas para trabalho a frio.

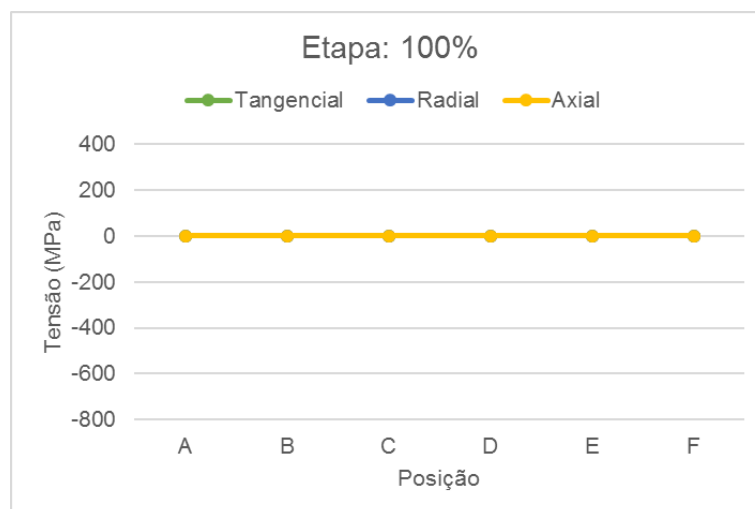


Figura 10. Tensões na quinta etapa analisada (100% trefilado).

4 CONCLUSÃO

A ferramenta de trefilação apresenta alta resistência mecânica, uma vez que atinge elevadas tensões e sua plasticidade segue permanente, fatores inteiramente dependentes do material de fabricação da fieira. Na simulação numérica realizada, a região de trabalho da ferramenta (posição B a C), responsável de fato pela deformação, apresentou valores médios de tensão radial da ordem de 600 MPa em compressão. Pode-se dizer que as maiores tensões compressivas registradas no processo se situam na fronteira entre a região de calibração e a região de trabalho.

A região de calibração (posição D a E) também apresenta níveis elevados de tensões, iniciando com maiores amplitudes no início da região e reduzindo seus valores conforme se aproxima da região de saída. Isto pode ser explicado pela atuação desta região no processo, garantindo a permanência da deformação já aplicada na barra pela região de trabalho.

Em relação a região de saída (posição E a F) nota-se uma alta presença de tensões radiais trativas que ocorrem devido ao retorno elástico do material trefilado. Valores médios em tração superiores a 200 MPa foram registrados. Em todas as posições não foram registradas tensões residuais após o término do carregamento.

É possível, portanto, realizar análises através do método de elementos finitos, buscando melhorias no processo, produtos com maior qualidade e uma redução geral de custos. Se torna interessante focar a resolução de problemas diretamente nas regiões de maior amplitude de determinadas variáveis (tensão, por exemplo), onde o desgaste será maior. Os valores de tensão observados ao longo de um processo real de trefilação podem ser superiores aos encontrados nesta simulação. Isto ocorre devido às diferentes variáveis do processo e pelas próprias restrições do software, como a distribuição da malha. Com isso, o modelo numérico desenvolvido será utilizado para posterior avaliação das influências de diferentes parâmetros do processo, como lubrificação e desgaste, relacionando com a amplitude de tensões presentes no decorrer do processo de trefilação.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo auxílio prestado através de bolsa de iniciação científica incluída no projeto BRAGECRIM 590031/2010-4, processos 121464/2014-8 e 146965/2015-9, exercida de 08/2014 a 02/2016.

REFERÊNCIAS

- 1 Button ST. Curso de Especialização em Siderurgia: Trefilação. Belo Horizonte: UFOP; 2008.
- 2 Zottis J. Modelagem e Análise Numérica de Variações dos Parâmetros Não Controláveis em um Sistema de Trefilação de Barras [Dissertação de Mestrado]. Porto Alegre: UFRGS; 2013.
- 3 Nunes RM. Estudo de Distorção de Barras Cilíndricas de Aço ABNT 1045 em uma Rota de Fabricação Envolvendo Trefilação Combinada e Têmpera por Indução [Tese de Doutorado]. Porto Alegre: UFRGS; 2012.
- 4 Soares CAT. Análise das Tensões Residuais no Processo de Trefilação Considerando os Efeitos de Anisotropia [Dissertação de Mestrado]. Porto Alegre: UFRGS; 2012.
- 5 Bresciani Filho E, da Silva IB, Batalha GF, Button, ST. Conformação Plástica dos Metais. 6ª ed. Campinas: UNICAMP; 2011.