



**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FORJAMENTO  
EM MATRIZ ABERTA ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO  
NUMÉRICA, COM PREVISÃO DE  
MICROESTRUTURA**



**Orientador:** Prof. Dr-Ing. Lirio Schaeffer

**Mestrando:** Eng. Tiago C. A. Colombo

Para contato e maiores informações:

[tiago.colombo@ufrgs.br](mailto:tiago.colombo@ufrgs.br) (51) 3308-6143

Para a produção de geometrias circulares através de forjamento em matriz aberta, é difícil de obter a otimização de parâmetros do processo através da prática de tentativa e erro no cotidiano industrial. O Método de Elementos Finitos serve como uma solução para esta questão, economizando tempo e custos na fabricação de ferramental para protótipos físicos que seriam necessários sem o uso desta técnica.

Esta pesquisa, relacionada ao projeto BRAGECRIM – *Bulk Metal Formed Parts for Powerplants*, visa otimizar o processo de forjamento em matriz aberta para a produção de um eixo vazado para aplicação em aerogeradores de energia, empregando o Método de Elementos Finitos para analisar diferentes metodologias de forjamento e diferentes geometrias de matrizes e relações geométricas entre matrizes e geratriz, de modo a indicar a configuração de processo que indica um melhor produto em relação a aspectos dimensionais, distribuições de temperatura, distribuições e intensidades de deformação e em relação à evolução microestrutural.

Através do processo de forjamento em matriz aberta, pretende-se partir da geometria ilustrada na Figura-a e se obter a geometria final conforme ilustrada na Figura-b, pela redução da seção transversal e alongamento da peça. Este processo é realizado incrementalmente, ou seja, apenas uma região da geratriz é deformada em cada passo do processo.

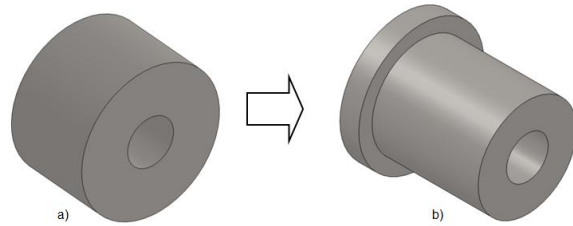


Figura 1: a) Geometria da geratriz e b) Geometria pretendida para o eixo vazado.

Um dos parâmetros a serem avaliados é a influência de diferentes geometrias e combinações de matrizes no processo. A Figura 2 ilustra diferentes geometrias avaliadas numericamente.

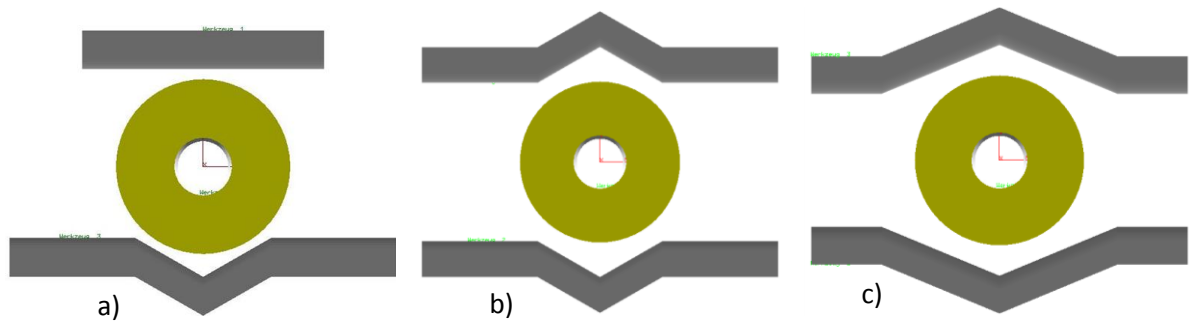


Figura 2: Diferentes geometrias de matrizes avaliadas: a) Plana – V120°, b) V120°-V120°, e c) V135°-V135°.

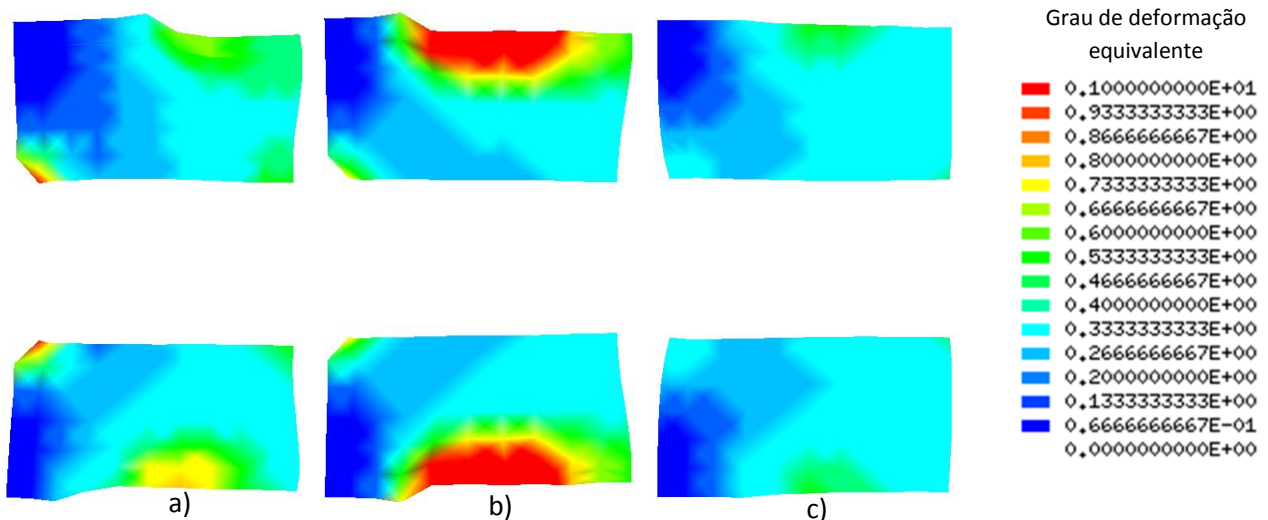


Figura 3: Distribuição de grau de deformação. a) Plana – V120°, b) V120°-V120°, e c) V135°-V135°.

A Figura 3 ilustra o perfil de deformação equivalente ao longo da seção longitudinal no com as diferentes geometrias e combinações de matrizes empregadas. Os valores de deformação equivalente variam de cerca de 0,3 até 0,5 na região central da peça e de cerca de

0,5 a 1,0 nas camadas mais externas. Os resultados numéricos mostram uma tendência de maior deformação do material nas camadas externas do que na região central da peça.

A Tabela 1 apresenta os valores de alongamento médio e cargas máximas exigidas para conformação, para as diferentes combinações avaliadas. Percebe-se que a utilização de um par de matrizes V com abertura de 120° tende a promover maior alongamento, com o custo de um leve acréscimo na carga máxima exigida.

Tabela1: Alongamento médio e cargas de conformação para as diferentes combinações de matrizes avaliadas.

Matrizes	Alongamento médio (%)	Carga máxima de conformação (tonf)
Plana-V120	8,2	391,4
V120-V120	10,3	425,8
V135-V135	9,5	418,0

A Figura 4 ilustra a distribuição de tamanho de grão ao longo da seção longitudinal com as diferentes geometrias e combinações de matrizes empregadas. Observa-se que a utilização de um par de matrizes V com ângulo de 120° tende a promover maior refino de grão nas camadas mais externas de material, nas regiões onde o grau de deformação induzido é maior.

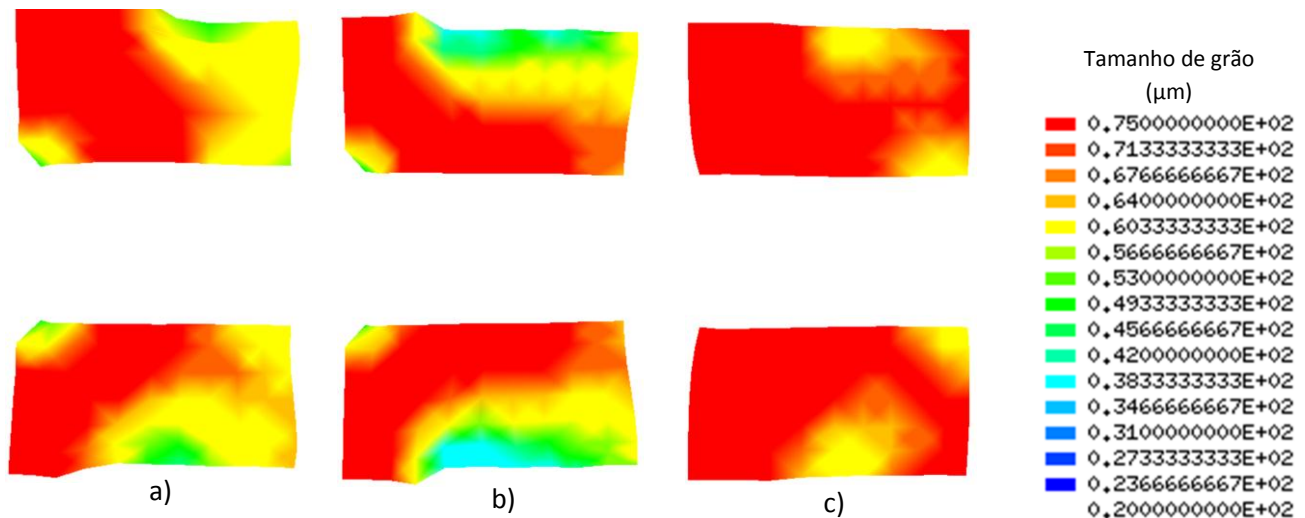


Figura 4: Distribuição de tamanho de grão. a) Plana – V120°, b) V120°-V120°, e c) V135°-V135°.

A análise do processo de forjamento em matriz aberta através do método de elementos finitos possibilita a avaliação de diferentes parâmetros do processo, eliminando a necessidade de procedimentos experimentais de grande complexidade e alto custo de ferramental, fornecendo informações importantes relacionadas ao processo, desde a estimativa de equipamento necessário para o processo até a previsão de evolução microestrutural do componente final forjado.