Simulação em Conformação de Chapas

Princípios de Análise

Prof. Paulo Marcondes, PhD.
DEMEC / UFPR

ANÁLISE ESTRUTURAL

- **Análise em Engenharia**:
  - Expressões matemáticas
  - Avaliação experimental
  - Simulação computacional

Método dos Elementos Finitos (MEF)

Finite Element Analysis *(FEA)*

ANÁLISE LINEAR

Mecânica Estrutural

Isaac Newton
Robert Hooke

Lei de Hooke: **Relação linear entre força e deslocamento** (proporcional ao coeficiente de rigidez da mola)

$$\mathbf{F}\ (\mathrm{N}) = \mathbf{K}\ (\mathrm{N/m})\ .\ \mathbf{x}\ (\mathrm{m})$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{F} / \mathbf{K}$$

Linear:

Se aplicarmos o ***dobro de força*** teremos o ***dobro de deslocamento***

ANÁLISE LINEAR

Problemas reais são mais complexos:

- **Métodos computacionais matriciais**

Exemplo: matriz global de rigidez.

A **força e deslocamento** se tornam ***vetores***, e o **coeficiente de rigidez** se torna uma ***matriz***

$$\begin{Bmatrix} -R_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ P \end{Bmatrix}$$

$$\{\mathbf{R}\} = [\mathbf{K}]\{\mathbf{u}\} - \{\mathbf{F}\}$$

$$\{\text{reaction matrix}\} = \{\text{stiffness matrix}\}\{\text{displacement matrix}\} - \{\text{load matrix}\}$$

Verdade:

A **natureza** exibe comportamento ***não-Linear***

A rigidez muda progressivamente com o aumento do carregamento ou, ainda, como um resultado das mudanças no material e/ou efeitos geométricos ou de contato.

ANÁLISE NÃO-LINEAR

Com o desenvolvimento computacional e de hardware:

Introduziu-se, nos cálculos, **efeitos não-lineares**

- ***Processos de manufatura***
- ***Deformação plástica***
- ***Tratamentos térmicos***

ANÁLISE NÃO-LINEAR

Bases do MEF:

- Discretização (**malha**)
  Subdividir uma estrutura em um grande e finito número de simples elementos

- Equilíbrio (**balanço de forças internas/externas**)

- Modelo constitutivo (**materiais**)

Pelas caracterísitcas de rigidez de cada elemento e os combinando dentro de um sistema interconectado de equações simultâneas

Extendeu-se os princípios básicos da Lei de Hooke para um robusto e eficiente processo de solução computacional

A teoria preve que quando é encontrada alguma solução matemática o método é capaz de convergir para os resultados teóricos corretos.

ANÁLISE NÃO-LINEAR

Indicativos que a **Não-Linearidade** é importante:

- Trincas;
- Estrangulamento;
- Afinamento;
- Enrrugamento, colapso (*buckling*);
- Tensões acima da tensão elástica;
- Escoamento local;
- Bandas de cisalhamento e
- Temperaturas maiores que 30% da de fusão.

ANÁLISE NÃO-LINEAR

Origens da Não-Linearidade:

- Não-Linearidade do **Material**

  Abilidade do material apresentar uma resposta tensão-deformação não linear

- Não-Linearidade **Geométrica**

  Leva em conta fenômenos tais como rigidez de um componente sob carregamento, comportamento de colapso da estrutura ou componente.

- Não-Linearidade de **Condições de contorno** ou 'contato de não-linearidade'

  A rigidez da estrutura ou componente, em contato ou não, pode mudar significativamente

Os algoritmos que resolvem as equações não-lineares devem levar em conta essas três formas de não-linearidade.

Fatores que evidenciam não-linearidade:

Deformações permanentes e

Grandes mudanças na geometria

ANÁLISE NÃO-LINEAR (material)

Critérios de escoamento (*yield criteria*)

A tensão de escoamento marca o início da deformação plástica.

Critério de von Misses

O escoamento ocorre quando o nível de tensão efetiva (chamado ***tensão equivalente ou tensão de von Misses***) alcança o ***valor do escoamento*** como definido do teste de tração uniaxial.

Essa condição de escoamento concorda relativamente bem com o comportamento da maioria dos metais dúteis tais quais os aços baixo carbono e alumínio.

É largamente utilizado em análises não-lineares por MEF.

ANÁLISE NÃO-LINEAR (material)

Critério de Tresca

O escoamento ocorre quando a **máxima tensão de cisalhamento** alcança o valor que tem quando o ***escoamento ocorre no teste de tração***.

Métodos de Drucker-Prager (ou Mohr-coulomb)

Incluem a existência de um estado de tensão hidrostático (ou confinado)

Usados para descrever materiais granulados tais quais, solos, rochas, gelo e concreto.

ANÁLISE NÃO-LINEAR (material)

Outros critérios de escoamento:

- **Von Misses modificado**
- **Hill e Hill melhorado**
- **Barlat**
- **Hoffman**
- **Shima**
- **Gurson**

Descrevem o comportamento de argilas, plásticos reforçados por fibras, para materiais que exibem propriedades anisotrópicas ou ortotrópicas.

Outros materiais podem ser descritos por modelos de **dano progressivo** (*progressive damage*)

Nestes a degradação do material com o aumento da tensão é levada em consideração de maneiras diferentes.

ANÁLISE NÃO-LINEAR (material)

Critério de encruamento (work hardening criteria)

A inclinação da curva na parte plástica indica o comportamento do material após o escoamento.

é dita como o comportamento do material após o escoamento.

- **Endurecimento isotrópico** (*isotropic hardening*)

  Para simulações de processos de manufatura e problemas dinâmicos de grande amplitude onde a **deformação plástica exede em grande parte o estado de escoamento**.

- **Endurecimento cinemático** (*kinematic hardening*)

  Usado para modelar casos onde o efeito Bauschinger é importante.

  Assume que o esoamento de von Misses não muda em forma ou intensidade.

ANÁLISE NÃO-LINEAR (contact / boundary condition)

Contato e Atrito *(contact and friction)*

Modelos clássicos:

- **Atrito de Coulomb** (*Coulomb friction / stick-slip friction model*)

- **Atrito de cisalhamento** (*shear friction)*

Subrotinas

Utilizadas para monitorar as condições de interface e modificar o efeito da fricção (variar em função da localização, pressão, temperatura, quantidade de escorregamento, etc.).

ANÁLISE NÃO-LINEAR

O método MEF é uma aproximação da realidade:

- A qualidade do modelo MEF (**precisão geométrica**)
- O processo de discretização (**escolha, criação e distribuição da malha**)
- **Propriedades do material** e correlacionado comportamento assumido
- Representação das **condições de contorno e carregamento**
- O próprio processo de solução (**método de solução, critério de convergência**)

ANÁLISE DINÂMICA NÃO-LINEAR

Soluções MEF ***não-lineares incrementais*** são frequentemente chamadas:

- Quase-estáticas

O ***carregamento é aplicado progressivamente em um número de incrementos***.

Quando nos comportamentos estruturais os **efeitos do tempo são significantes** são referenciados como

'dinâmicos' ou 'transientes'

SOLUÇÃO DINÂMICA NÃO-LINEAR

- Problemas dinâmicos transientes

A solução via MEF é progredida passo a passo, no tempo, levando em conta a resposta da velocidade e da aceleração em adição ao simples comportamento força-deslocamento.

Os **códigos MEFs dinâmicos não-lineares** oferecem duas maiores aproximações para a solução de equações dinâmicas:

Métodos **'implicitos'** e,
M'todos **'explicitos'.**

MÉTODOS DINAMICOS IMPLÍCITOS

- A aproximação **implícita** resolve um sistema matricial, uma ou mais vezes por passo, para avançar para a solução,

porém, pode ***não capturar comportamentos*** do componente ***com tempo de curta duração*** (alta frequência).

Gera grandes sistemas de equações,

Complexidade e grande recurso computacional.

MÉTODOS DINAMICOS EXPLÍCITOS

- O método **explícito** avança para a solução MEF sem necessitar uma matriz rígida (ou menos frequentemente) simplificando o processo,

  Para um dado tamanho de 'time-step' a formulação explícita geralmente requer poucas e menos complicadas computações por 'time-step'.

São **instáveis** e rapidamente podem divergir da solução correta a menos que se use pequeno e curto 'time-step' comparado ao valor crítico máximo calculado.

Adequado para **aplicações altamente dinâmicas** de curta duração (Ex.: carregamento com explosivos, materiais altamente dependentes da taxa de deformação, ***embutimento profundo***)

MÉTODOS DINAMICOS EXPLÍCITOS E IMPLÍCITOS

- Na conformação plástica **após ser deformado** o metal tende a apresentar uma ***recuperação elástica*** e este efeito pode ser simulado.

- Para isto, o **processo de conformação** pode ser ***primeiramente simulado*** com a integração de tempo ***explícita*** de modo habitual.

  Quando a simulação da conformação termina, um arquivo que contém toda a informação de tensão e deformação do recorte (*blank*) pode ser obtido.

- Baseado neste arquivo (sem as informações das ferramentas), em um ***segundo passo***, uma ***análise implícita*** pode ser feita para se obter informações quanto à ***recuperação elástica do material***.

MÉTODOS DINAMICOS EXPLÍCITOS

- Ainda, um importante fator é o **acompanhamento** do processo de ***experimentação/ modelamento***.

  - O **erro numérico** pode ser definido como a diferença entre a solução analítica exata de uma determinada variável de interesse e a sua solução numérica.
  - A **verificação e validação** são os principais processos para estimar e analisar erros em programas de simulação.

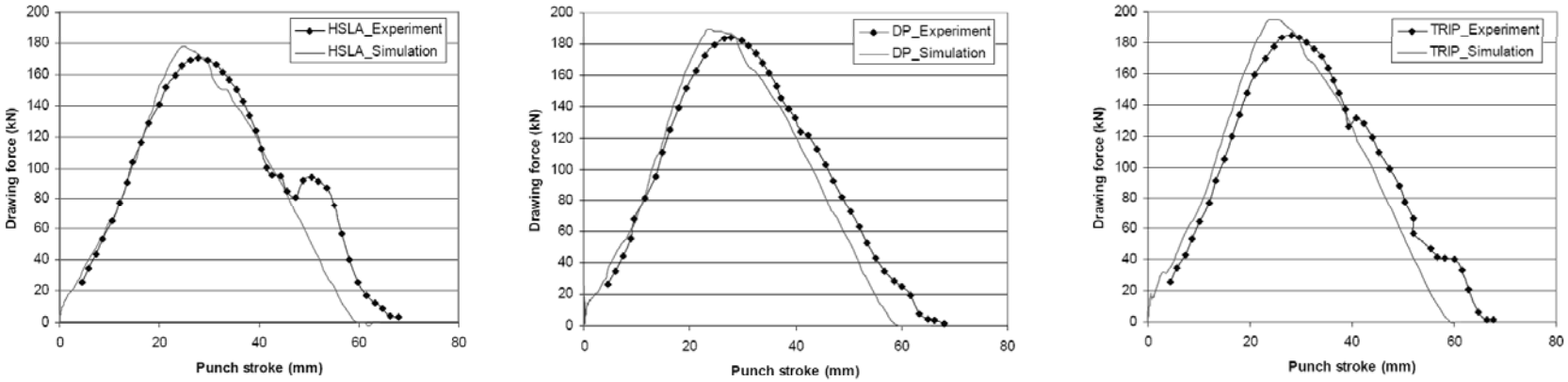
A **verificação** é a ***avaliação da precisão da solução computacional em relação ao modelo numérico***,

A **validação** visa determinar a ***proximidade que o modelo matemático está do fenômeno real***, através da comparação da solução numérica com os dados experimentais.

MÉTODOS DINAMICOS EXPLÍCITOS

Curvas de força-deslocamento determinadas em um teste de estampagem e via simulação MEF.

Uma boa aproximação com os resultados experimentais foi obtida usando um **coeficiente de atrito de 0,0225 para o contato entre a matriz e a chapa metálica** (usando óleo e filme polietileno no experimento) e **0,1 para os contatos entre as interfaces da chapa metálica/prensa chapas e chapa de aço/punção** (foi usado óleo no experimento).



(a) (b) (c)

Curvas força-deslocamento experimentais e simuladas em um teste de embutimento com razão de embutimento de 2,2 e força de prensa chapas de 80kN: (a) HSLA, (b) DP e (c) TRIP

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Labconf
Laboratório de Conformação Mecânica - UFPR

DEMEC ON LINE

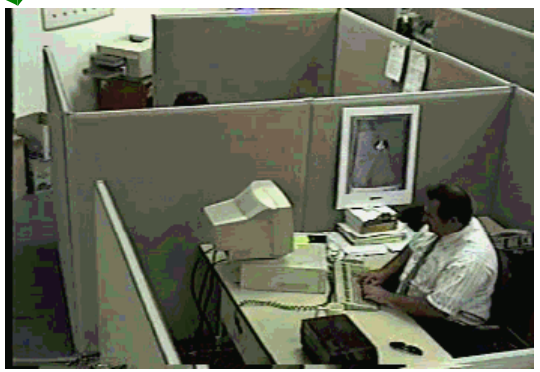
Conformação de Chapas

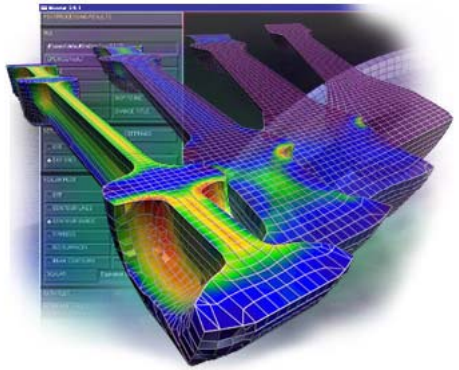
Prof. Paulo Marcondes, PhD.
DEMEC / UFPR

CICLO DE DESIGN E MANUFATURA: Convencional v/s CAE aided

Expensive Tests

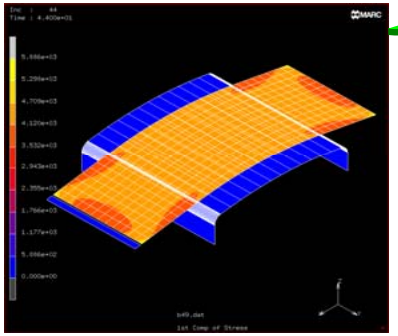
Engineering Redesign





Engineering Design
CAD

Manufacturing



Simulation

FATORES QUE INFLENCIAM NA CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

- Encruamento (‘Work Hardening’)
- Sensibilidade a Taxa de Deformação
- Anisotropia
- Tamanho de Grão
- Tensões Residuais (Tensões Secundárias)
- Estrangulamento (‘Necking’)
- Molejo de Retorno (‘Springback’)
- Enrugamento (‘Wrinkling’)

VANTAGENS DA SIMULAÇÃO

- **Modelamento, desenho e construção das peças**
  - **estimar a conformabilidade e evitar problemas no processo de estampagem, como *variações do material ou da geometria da peça*,**

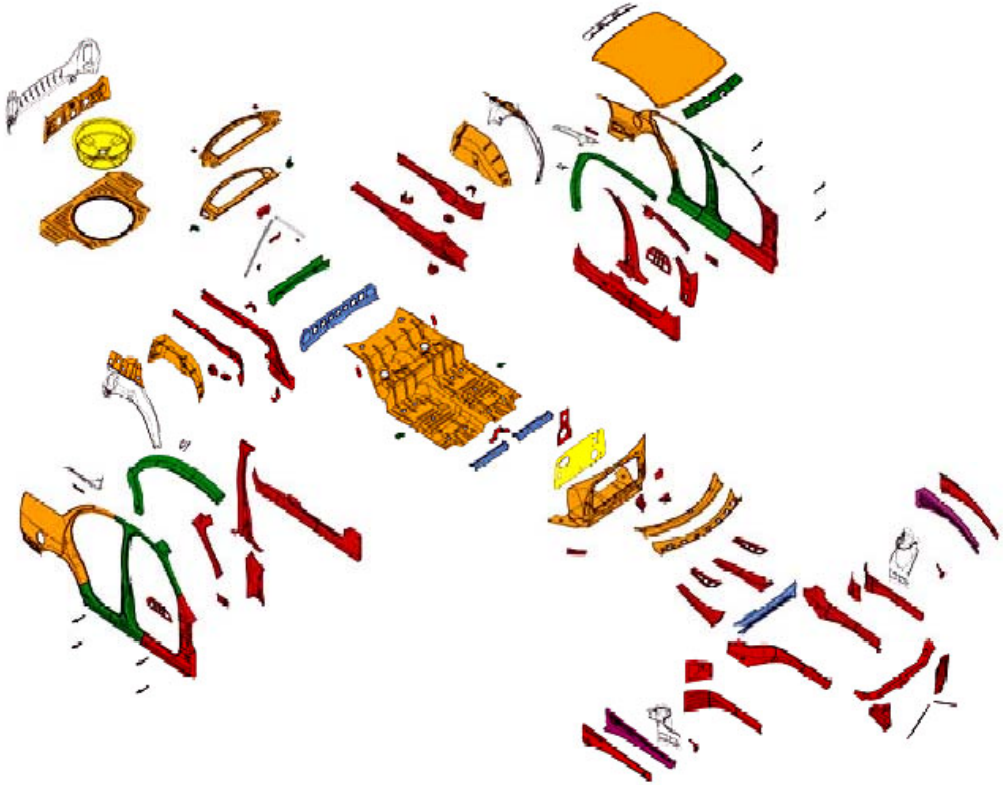
- **Orçamento de uma ferramenta**
  - **evitar erros de cálculo e altos custos da ferramenta,**

- **Planejamento do método e das etapas necessárias do processo de estampagem**
  - **ganhar mais segurança na produção e otimizar os passos para o produto final,**

- **Otimização das ferramentas**
  - **evitar problemas e perda de tempo no "Try-Out",**

- **Solução dos problemas**
  - **ocorrentes no "Try-Out" das ferramentas minimizando o tempo necessário.**

INDÚSTRIA AUTOMOTIVA



(ULSAB car model)

25 m² de chapas metálicas estampadas

DADOS DE ENTRADA: ANISOTROPIA

- Devido a orientação preferencial dos grãos (tendência estatística para certas orientações cristalográficas)

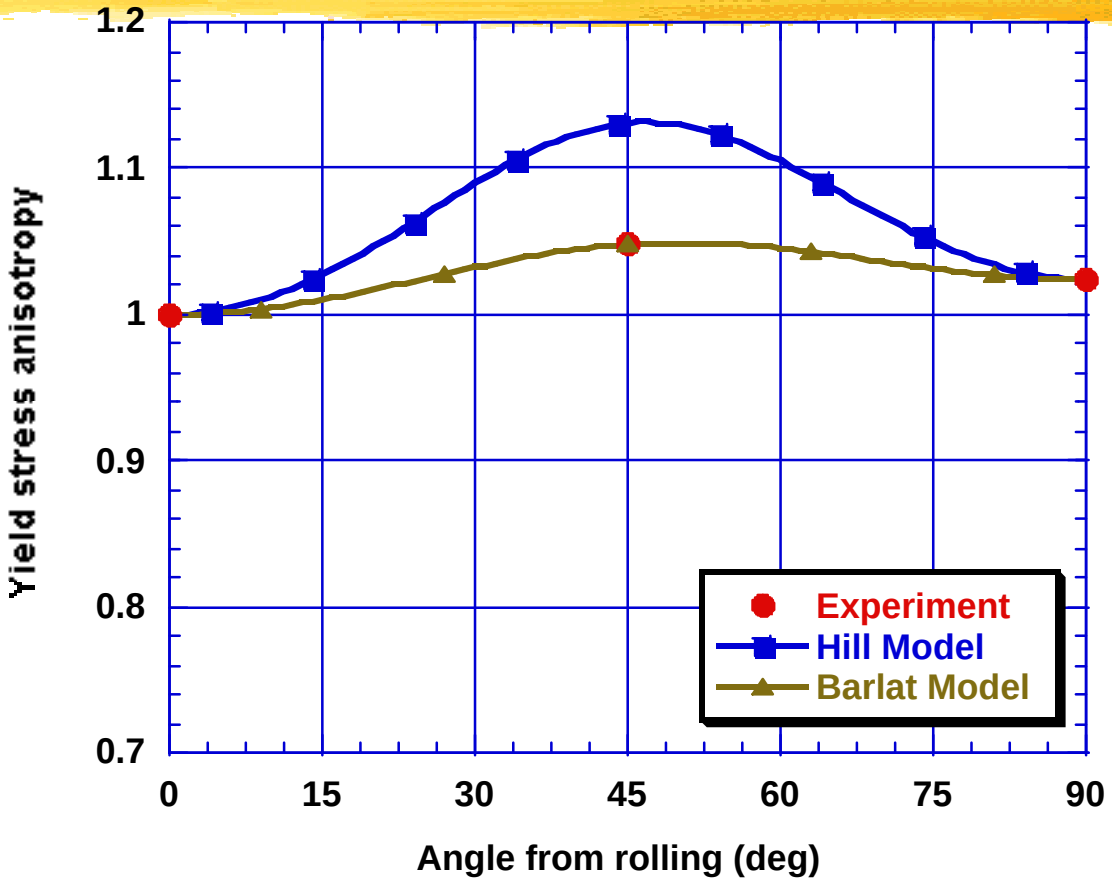
- O valor de R (razão da deformação na largura / espessura) é um importante parâmetro

- Um alto valor de R indica resistência ao afinamento e alta resistência sobre tensão biaxial

- Afeta o RCD (limiting draw ratio), distribuição da deformação e fenômeno de orelhamento

- Existem vários critérios de escoamento anisotrôpicos: Hill's (1948, 1979), Barlat, Hosford para descrever metais CFC and CCC

TENSÃO DE ESCOAMENTO ANISOTRÓPICA

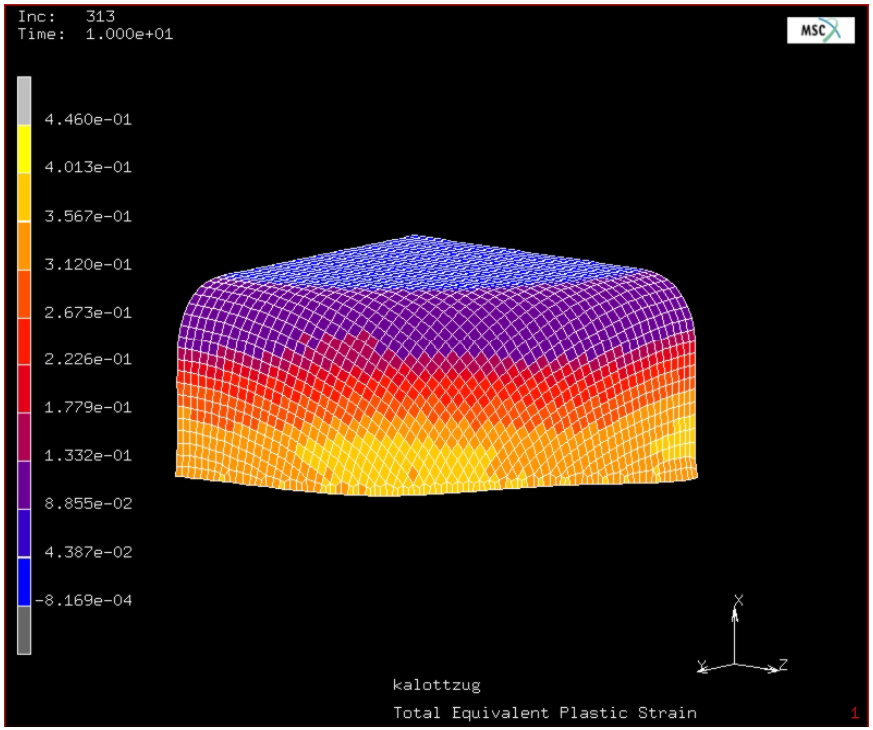


• O modelo de Hill model superestima a tensão de escoamento na direção 45 => prediz grande orelahamento com o modelo de Hill em 45 graus.

• O modelo de Barlat prediz a correta tensão de escoamento => O modelo de Barlat propicia melhores resultados.

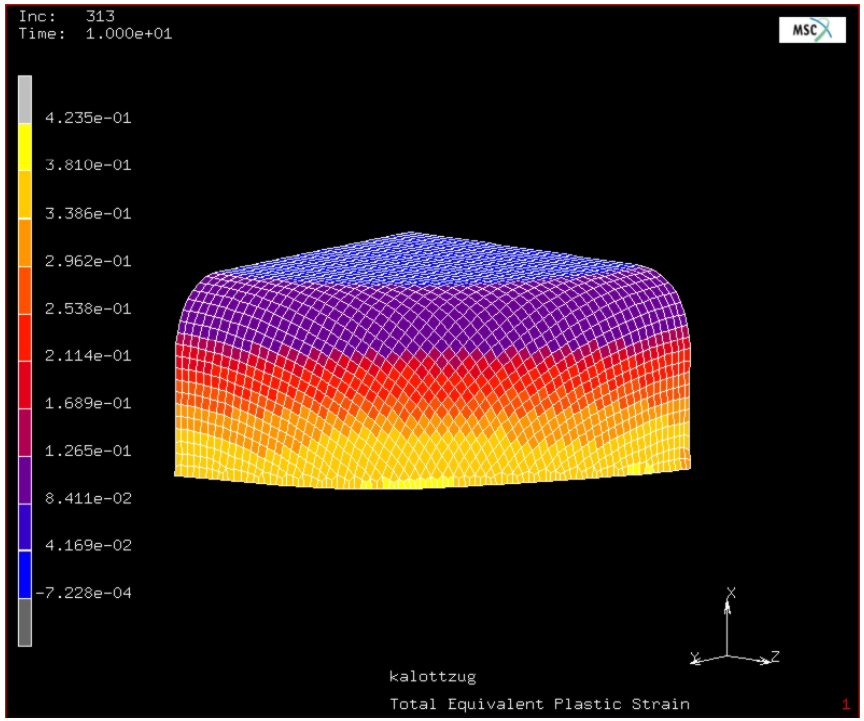
1st Stage :
ANDAMENTO DA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA

Hill's Model



Max. Value : 0.460

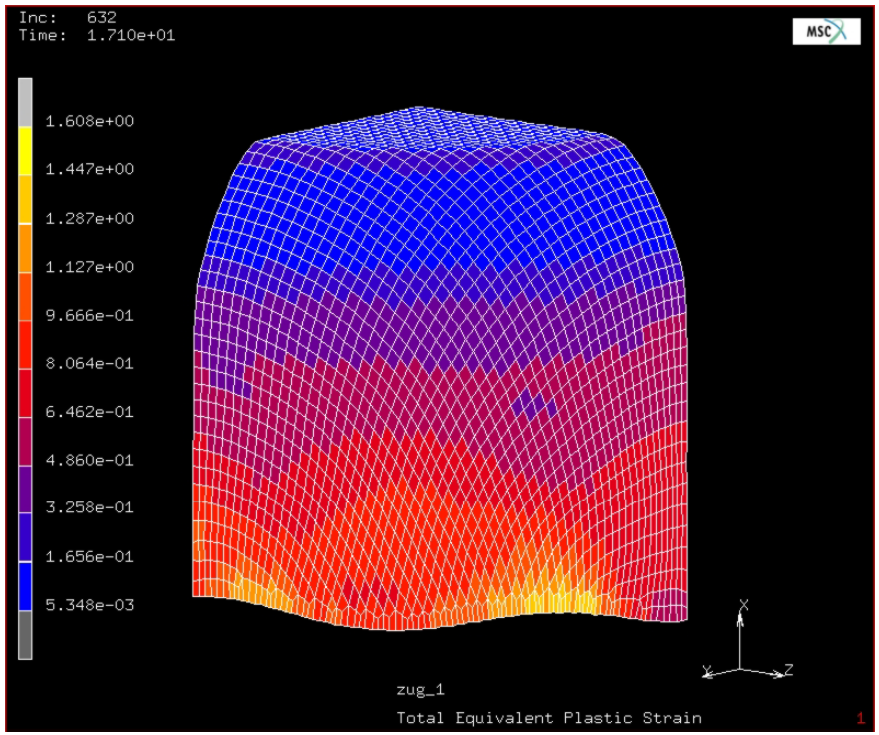
Barlat's Model



Max. Value : 0.423

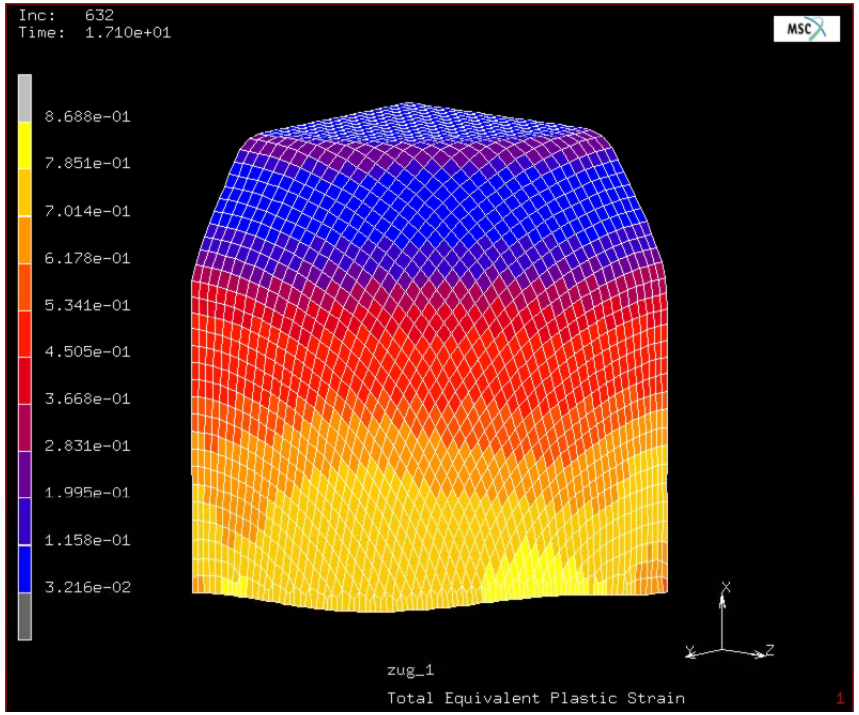
2nd Stage :
ANDAMENTO DA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA

Hill's Model



Max. Value : 1.608

Barlat's Model

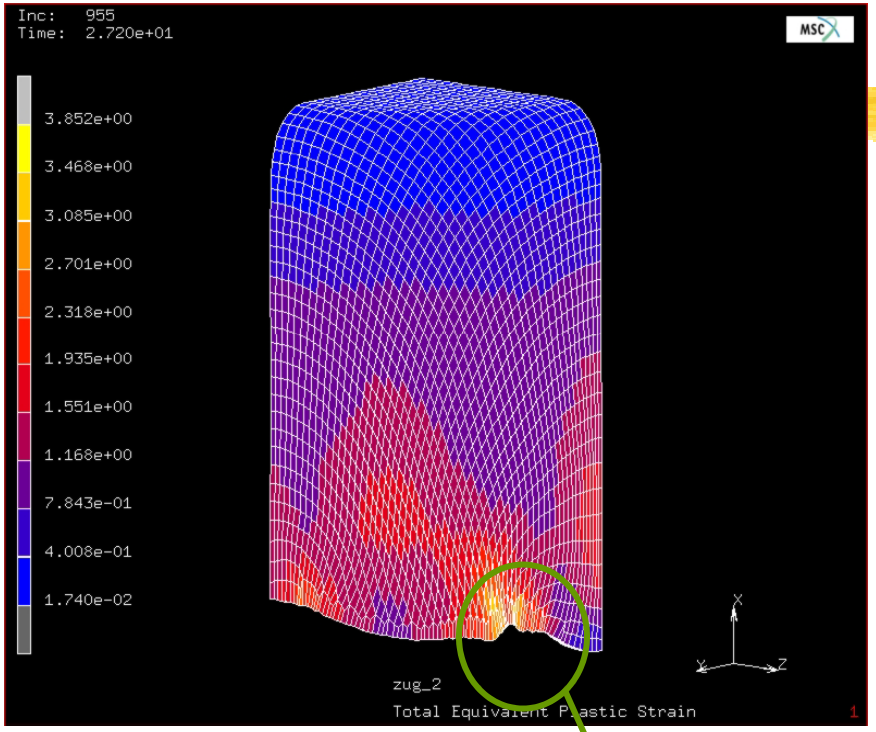


Max. Value : 0.868

Pequeno orelhamento é previsto pelo modelo de Barlat

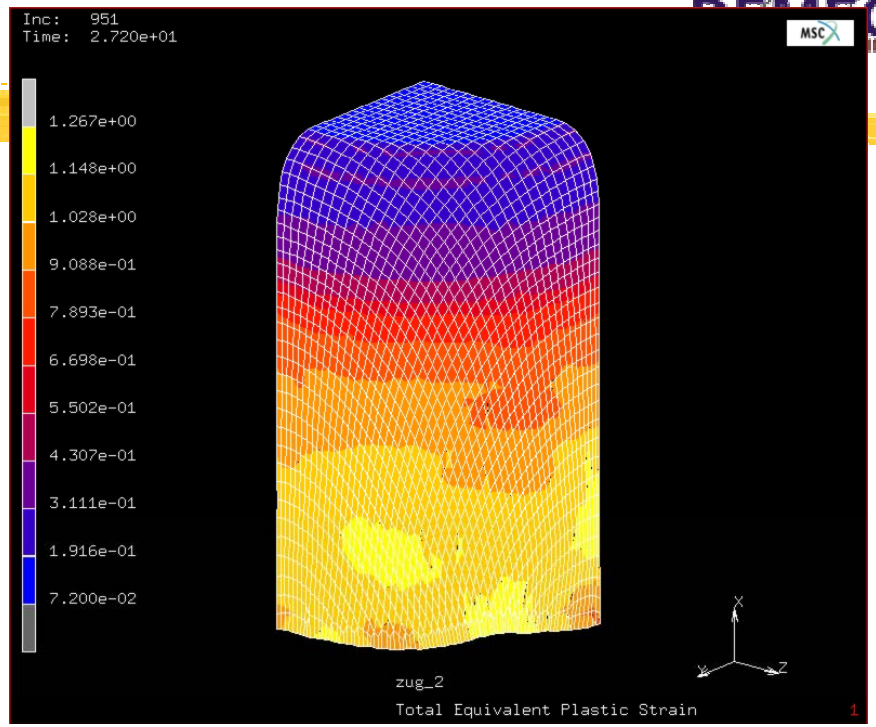
3nd Stage : ANDAMENTO DA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA

Hill's Model



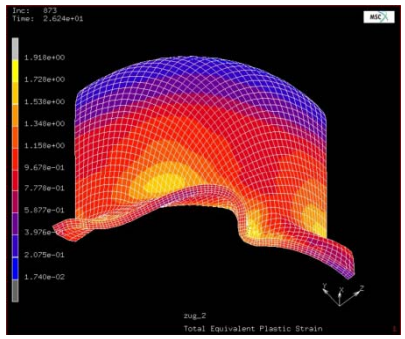
Max. Value : 3.852

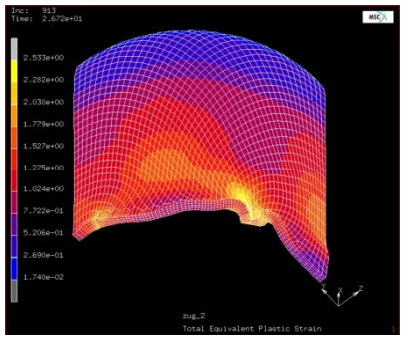
Barlat's Model

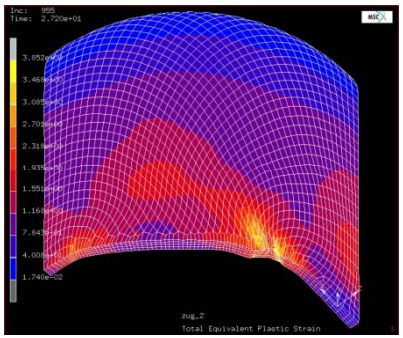


Max. Value : 1.267

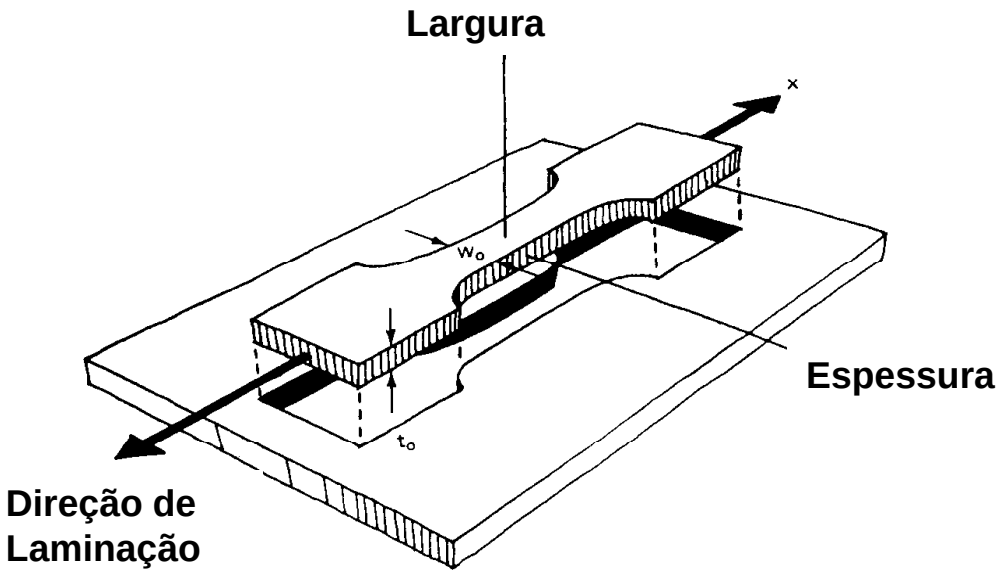
Colapso do elemento devido a extremamente alta tensão compressiva
- Devido ao grande orelhamento previsto pelo modelo de Hill

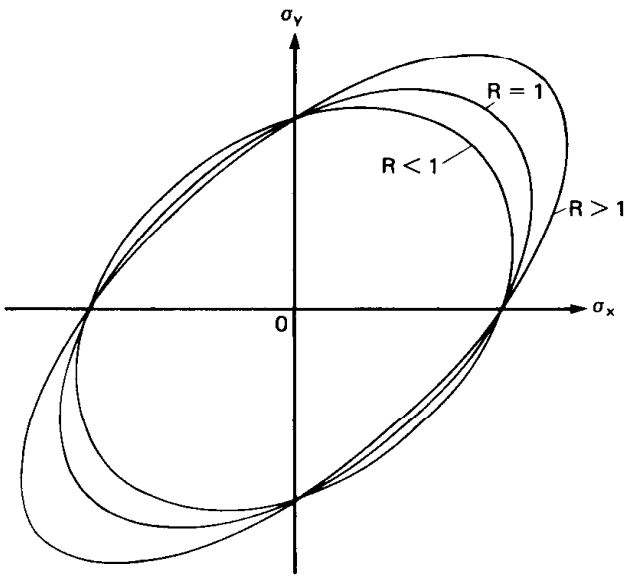




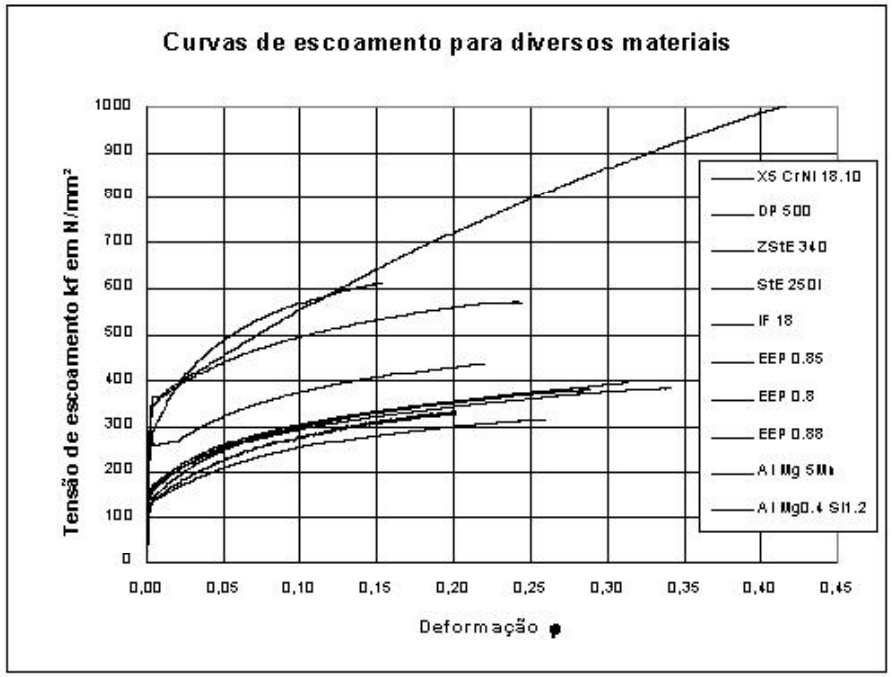


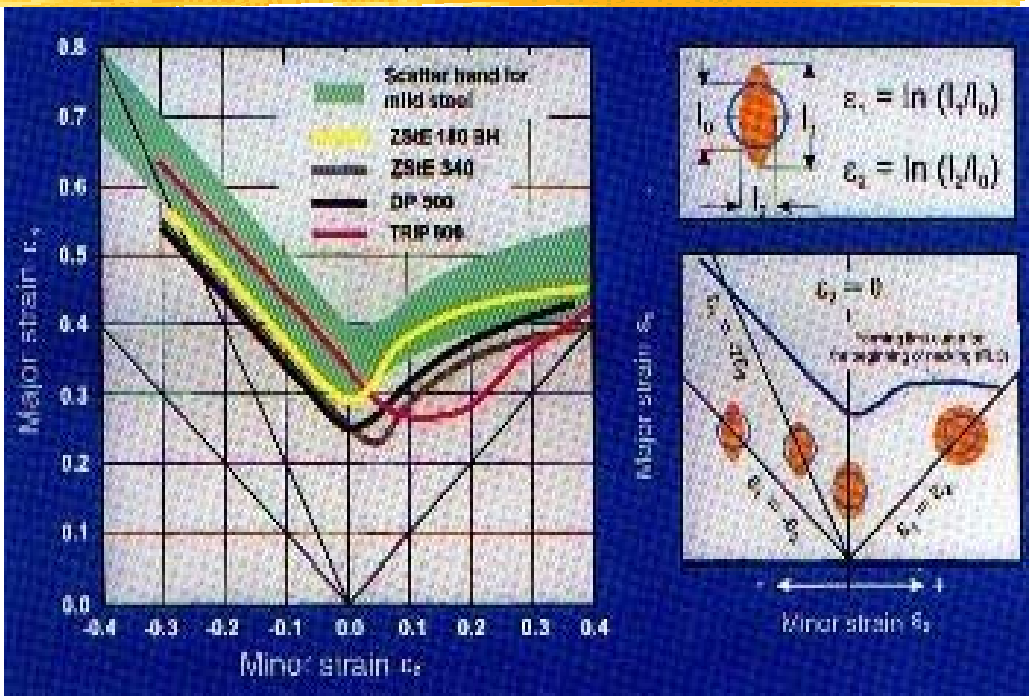
DADOS DE ENTRADA: ANISOTROPIA





DADOS DE ENTRADA





- **Curvas de escoamento.**

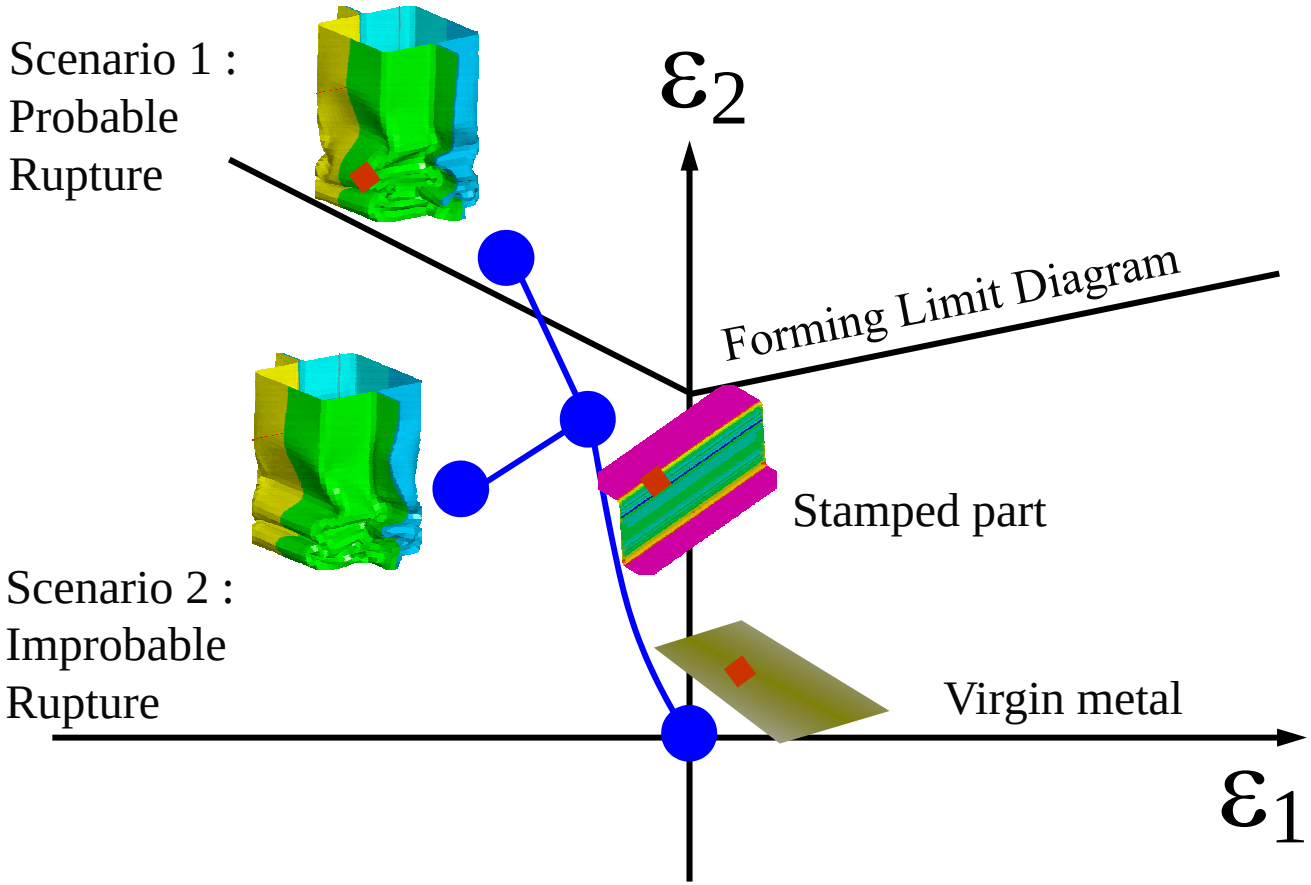
Para descrever o comportamento dos materiais na conformação com uma função entre deformação e tensão

- **Curvas Limite de Conformação.**

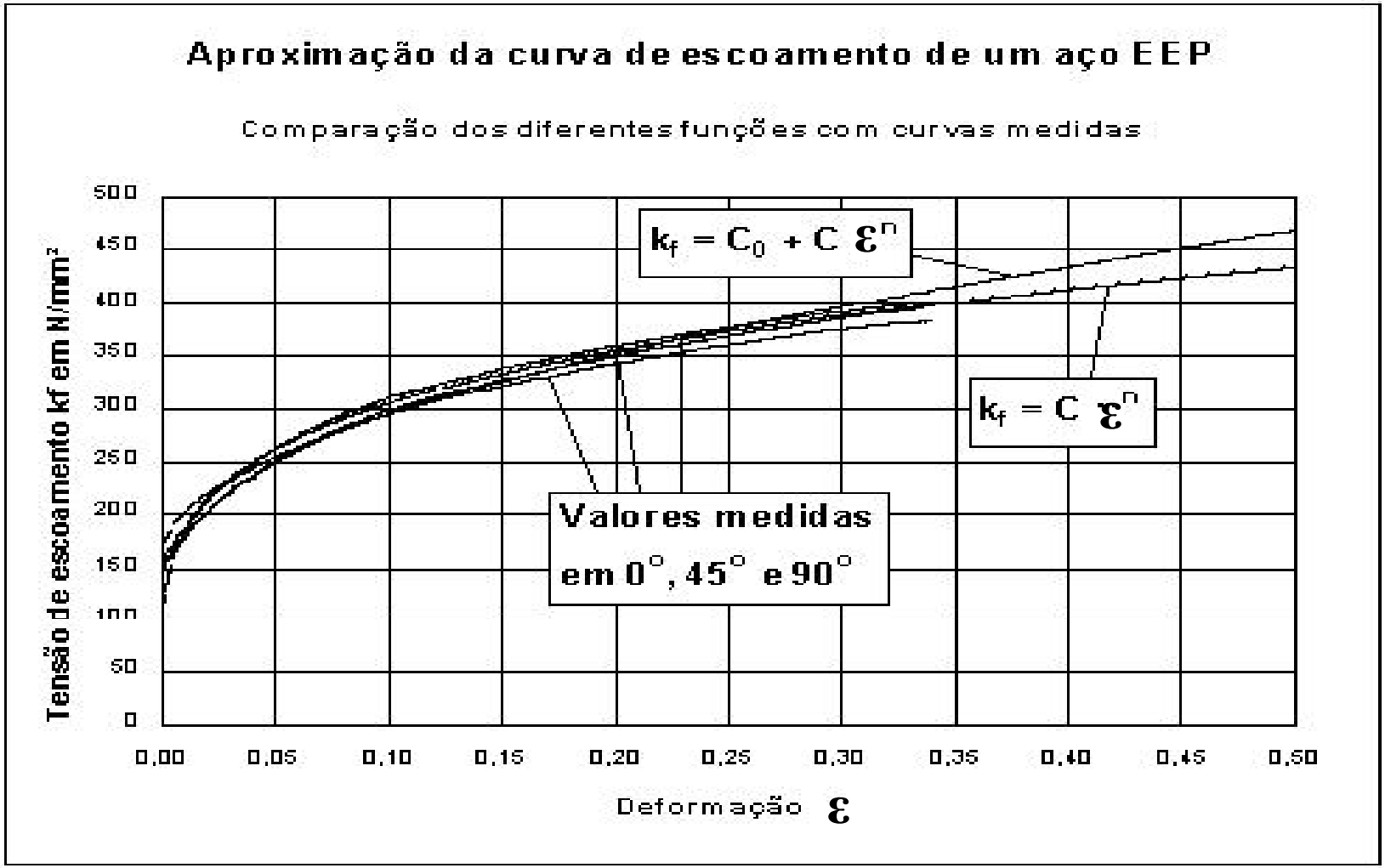
Para descrever as limites possíveis nas diferentes estados da conformação dos materiais

CURVAS LIMITE DE CONFORMAÇÃO

Previsão de Ruptura



APROXIMAÇÃO MATEMÁTICA DA CURVA DE ESCOAMENTO DE UM AÇO EEP



VALORES DA APROXIMAÇÃO MATEMÁTICA DAS CURVAS DE ESCOAMENTO

Aproximação após Ludwig/Hollomon: $k_f = C\,\varepsilon^{n}$

Aproximação após Nadai/Reihle: $k_f = C_0 + C_1\,\varepsilon^{n1}$

Material	Espess.	C	n	C_0	C_1	n_1
Al Mg 0.4 Si 1.2	0,80	457	0,25	136	425	0,57
Al Mg 0.4 Si 1.2	1,80	448	0,22	152	413	0,57
Al Mg 5 Mn	0,80	499	0,25	132	531	0,59
Al Mg 5 Mn	1,50	511	0,26	136	563	0,60
EEP O3	0,80	522	0,23	157	450	0,50
EEP O3	0,85	505	0,22	163	437	0,52
EEP O3	0,88	510	0,21	162	447	0,49
EEP O3	1,50	533	0,21	189	457	0,54
EEP O3	2,00	536	0,22	173	475	0,53

VALORES DA APROXIMAÇÃO MATEMÁTICA DAS CURVAS DE ESCOAMENTO

Material	Espess.	C	n	C_0	C_1	n_1
IF 18	0,75	537	0,25	144	481	0,50
IF 18	1,60	550	0,24	155	486	0,50
Z St E 180 BH	0,80	539	0,19	213	448	0,55
Z St E 180 BH	1,70	513	0,17	217	407	0,51
St E 250i	0,75	596	0,20	249	541	0,66
St E 250i	2,00	604	0,19	244	525	0,58
Z St E 300	2,00	706	0,15	359	628	0,66
Z St E 340	0,80	712	0,16	344	596	0,61
Z St E 380	2,00	631	0,10	382	432	0,52
DP 500	0,75	933	0,22	276	847	0,48
X5 Cr Ni 18.10	0,80	1325	0,36	321	1310	0,74

ESTIMAR A VIABILIDADE DE PRODUÇÃO

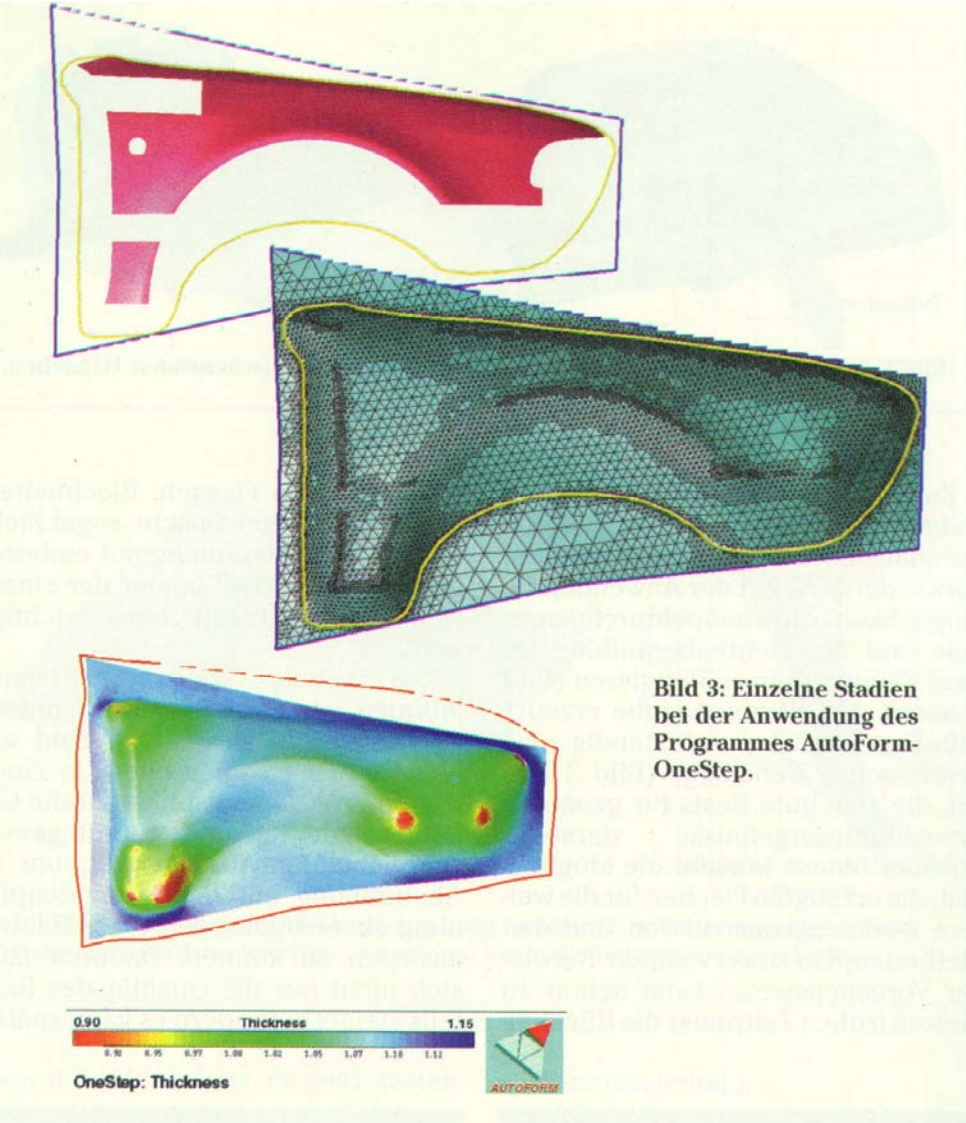
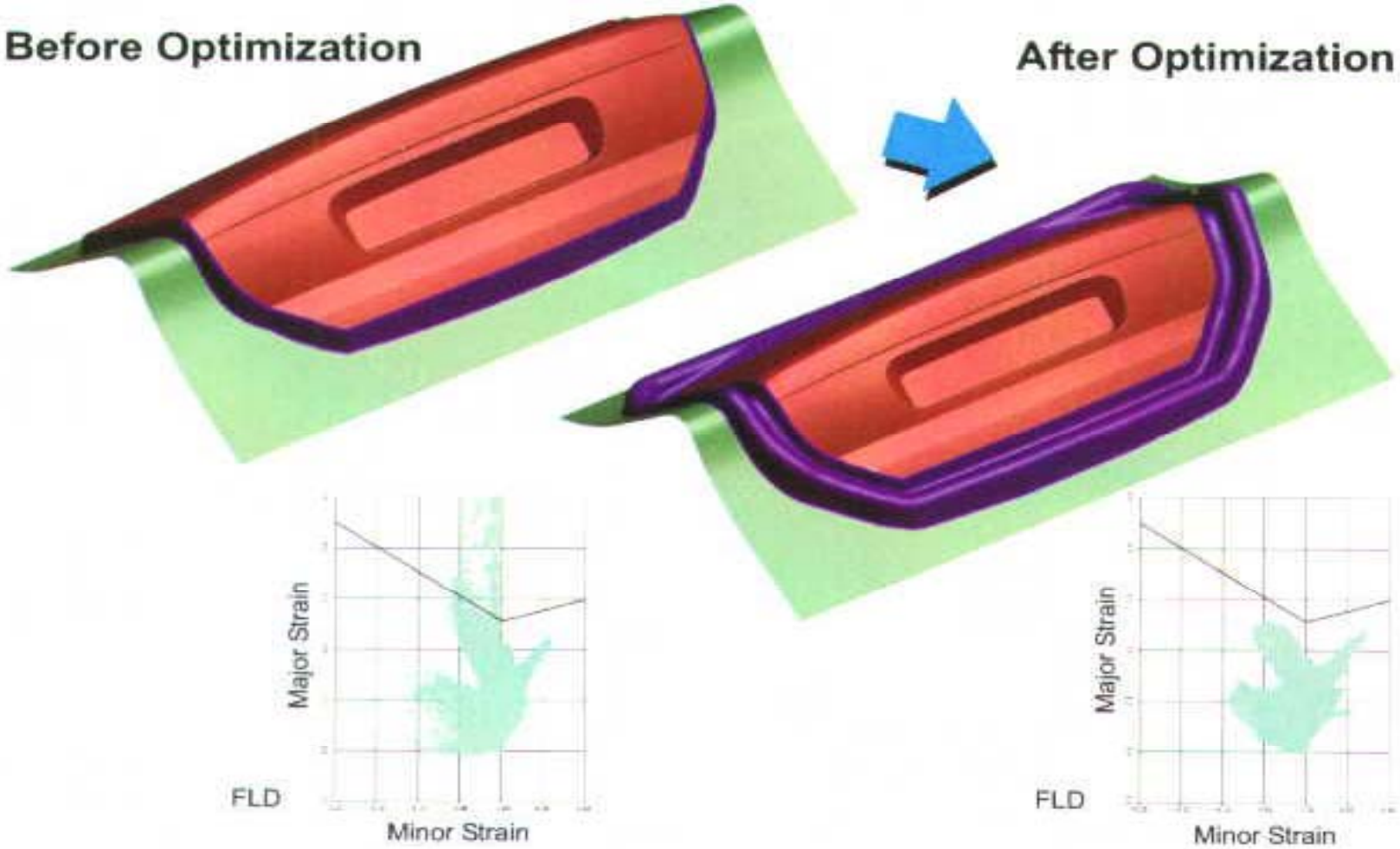


Bild 3: Einzelne Stadien bei der Anwendung des Programmes AutoForm-OneStep.

- **Conformabilidade**
- **Variação na:**
  - **Geometria**
  - **Material**
- **Programas rápidos**
- **Sem Ferramentas definidas**
- **Redução de Custos**

OTIMIZAÇÃO VIRTUAL DAS FERRAMENTAS



UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Labconf
Laboratório de Conformação Mecânica - UFPR

DEMEC ON LINE

Softwares de Simulação em Conformação de Chapas

Prof. Paulo Marcondes, PhD.
DEMEC / UFPR

PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO

Vários programas para diferentes tarefas:

- **Programas para uso geral:**
  - **MSC Marc,**
  - **Ansys,**
  - **Abaqus**
- **Programas para uso dedicado:**
  - **Chapas:**
    - **AutoForm,**
    - **Pam-Stamp,**
    - **LSDyna3D.**
  - **Forjamento:**
    - **Superforge,**
    - **Deform,**
    - **Autoforge.**

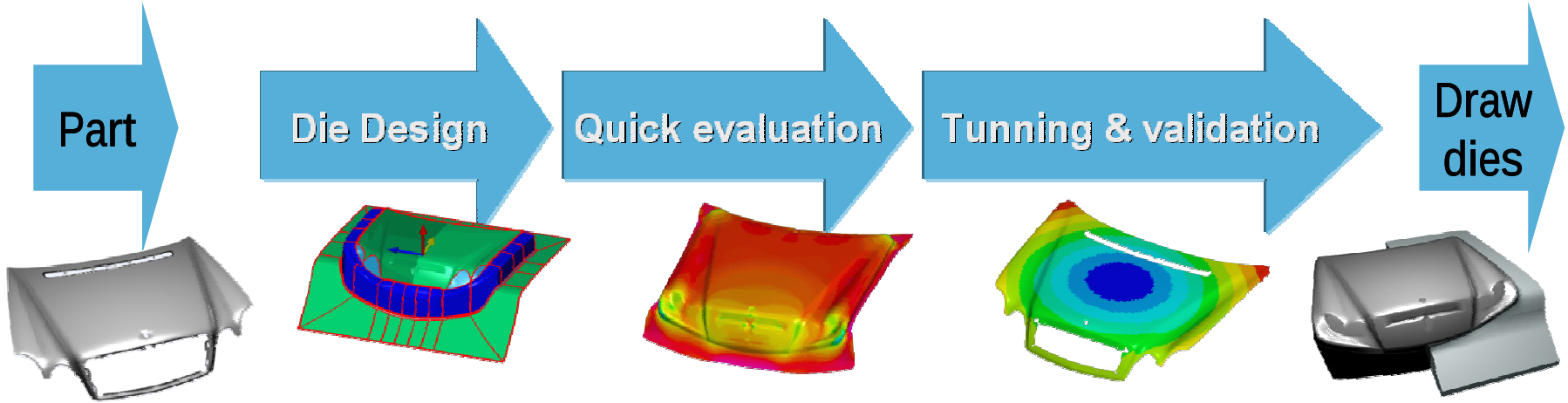
PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO

Programa	Empresa, Pais
ABAQUS	HKS, EUA
MARC	MARC/MSC, EUA
NIKE3D	LSTC, EUA
LARSTRAN	LASSO, AL
EPDAN	IFU STUTTG., AL
INDEED	INPRO, AL
ROBUST	Prof. Nakamachi, JP
DEDRAN	VW-GEDAS, AL
ICEM-STAMP	Control Data, AL
AUTOFORM	AUTOFORM, SUI
DEFORM	BATELLE, EUA
FORGE2/3	CEMEF, FRA
LS-DYNA3D	LSTC, EUA
PAM-STAMP	ESI, FRA/AL
ABAQUS-explicit	HKS, EUA
OPTRIS	Matra Datavision, FRA
UFO-3D	IABG, AL
PSU	Projgr. PSU, AL

REQUISITOS DESEJADOS EM UM SOFTAWARE

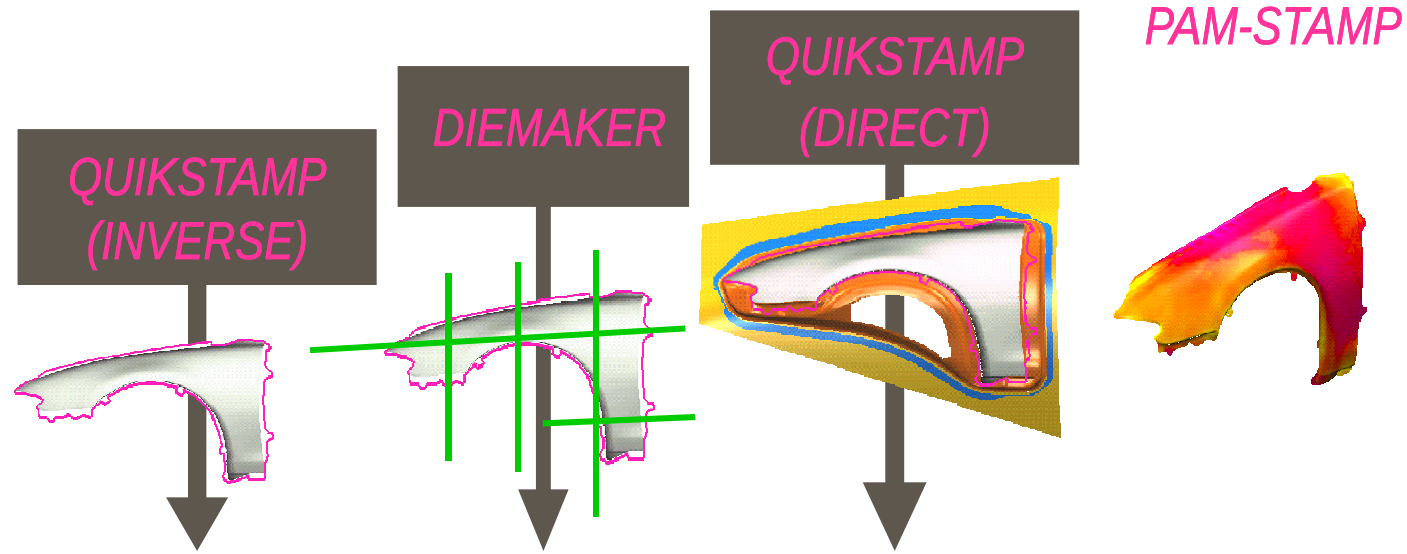
- Elementos grosseiros e refinados e elementos contínuos
- Modelos de Anisotropia Plástica: Hill melhorado e Barlat
- Diversas leis de endurecimento
- Condições de contato de fricção para grandes deslizamentos e deformações
- Descrição simples da geometria
- Modelamento dos cordões esticadores (‘drawbead’)
- DLC (Diagrama Limite de Conformação) com CLC

VISÃO GERAL PAM-STAMP 2G



Courtesy :
Daimler Chrysler

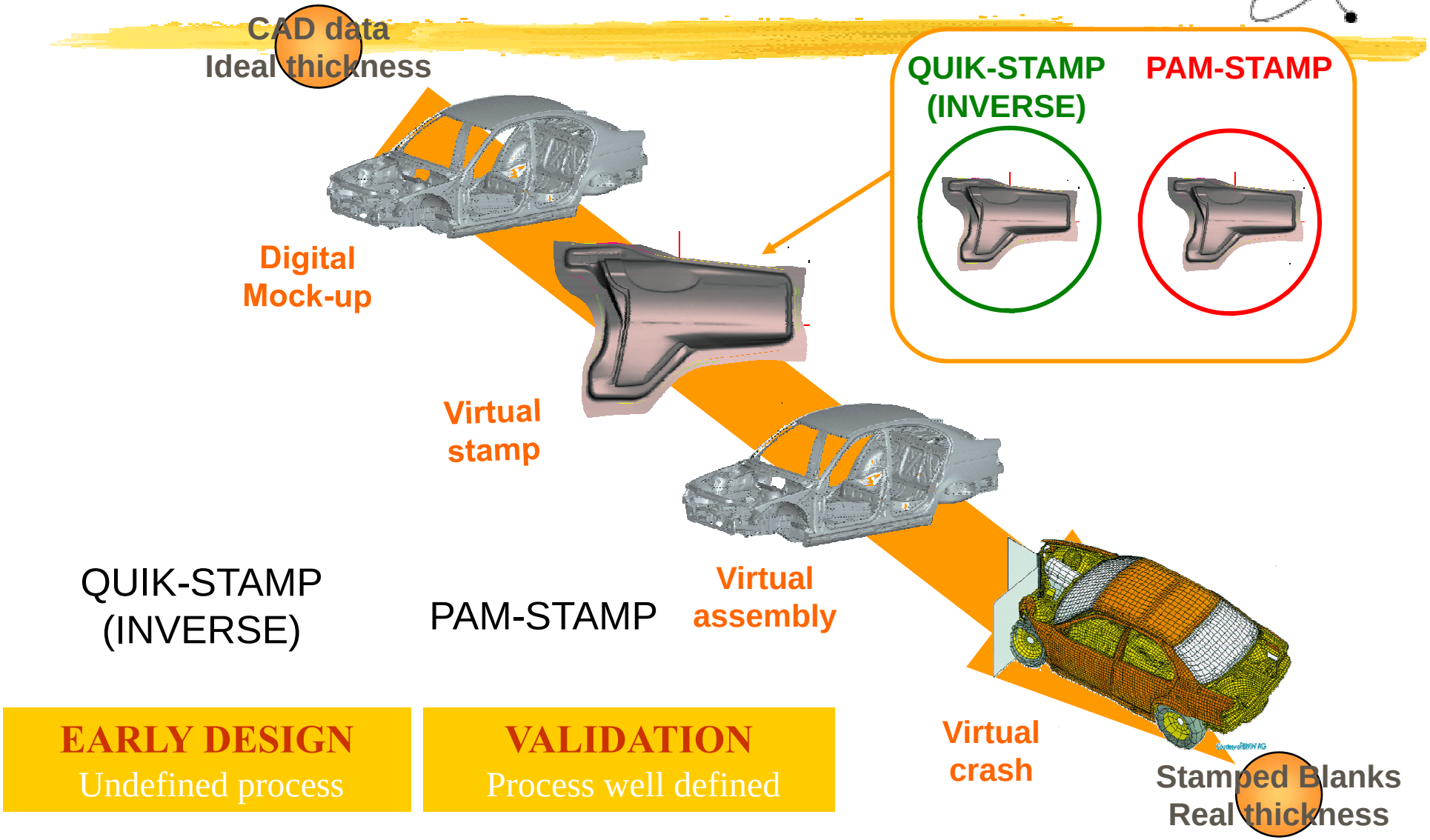
BENEFÍCIOS DO PAM-STAMP



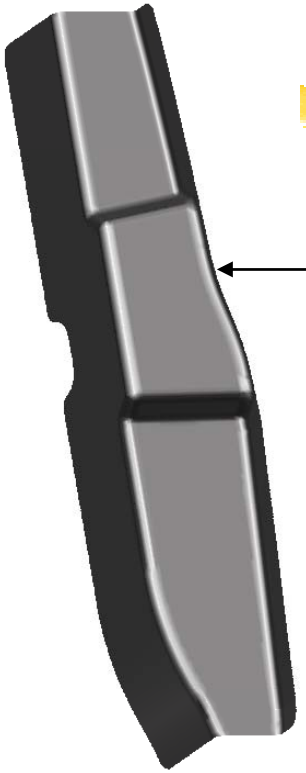
Part Design	Die Design	Process Validation

Viabilidade → *Validação*

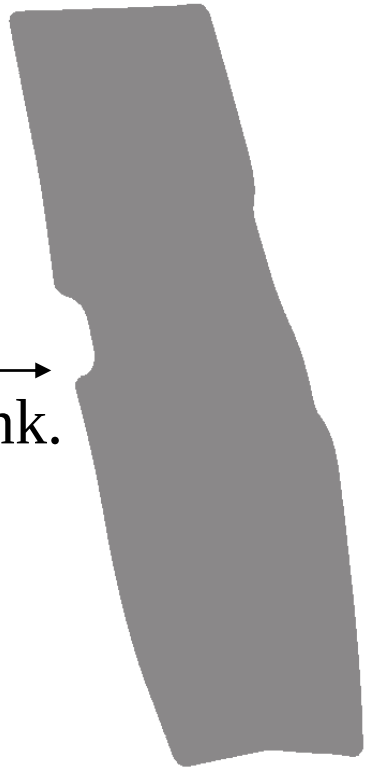
UNINDO – PAM CRASH / STAMP



‘ONE- STEP SOLVERS’



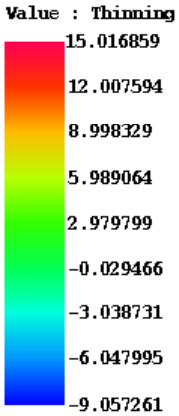
Dada a geometria da peça, o one - step solver Quickstamp® pré-define a forma e tamanho do blank.

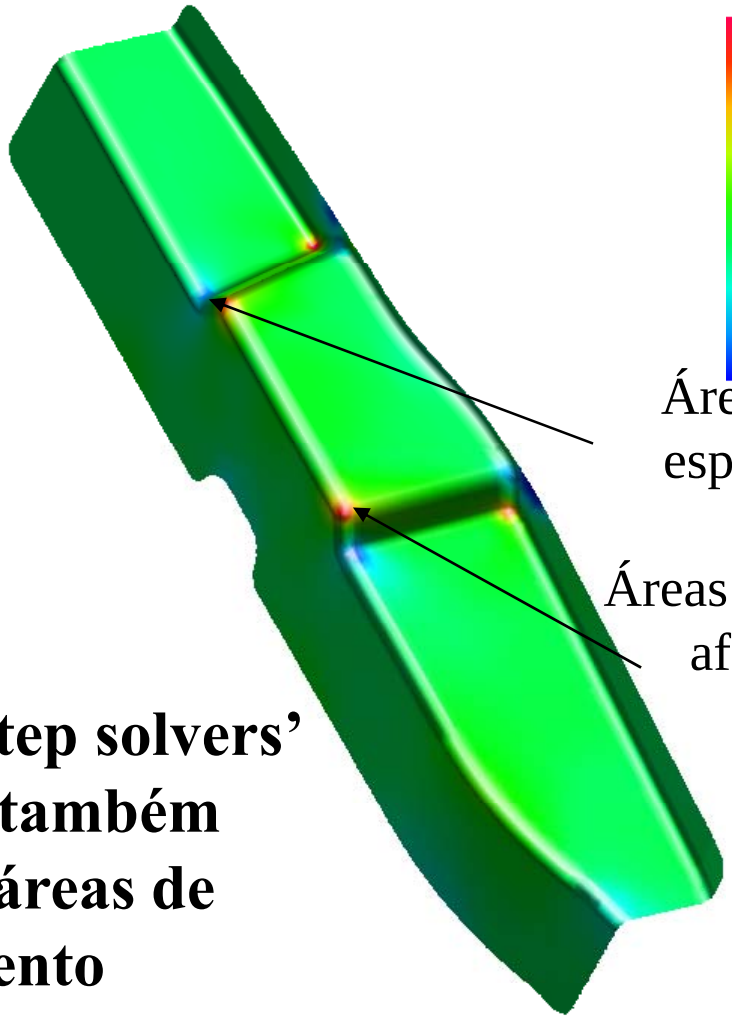


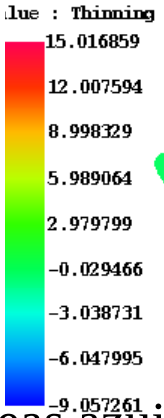
Quando utilizado corretamente, ‘one - step solvers’ são eficazes para o desenvolvimento inicial do blank.

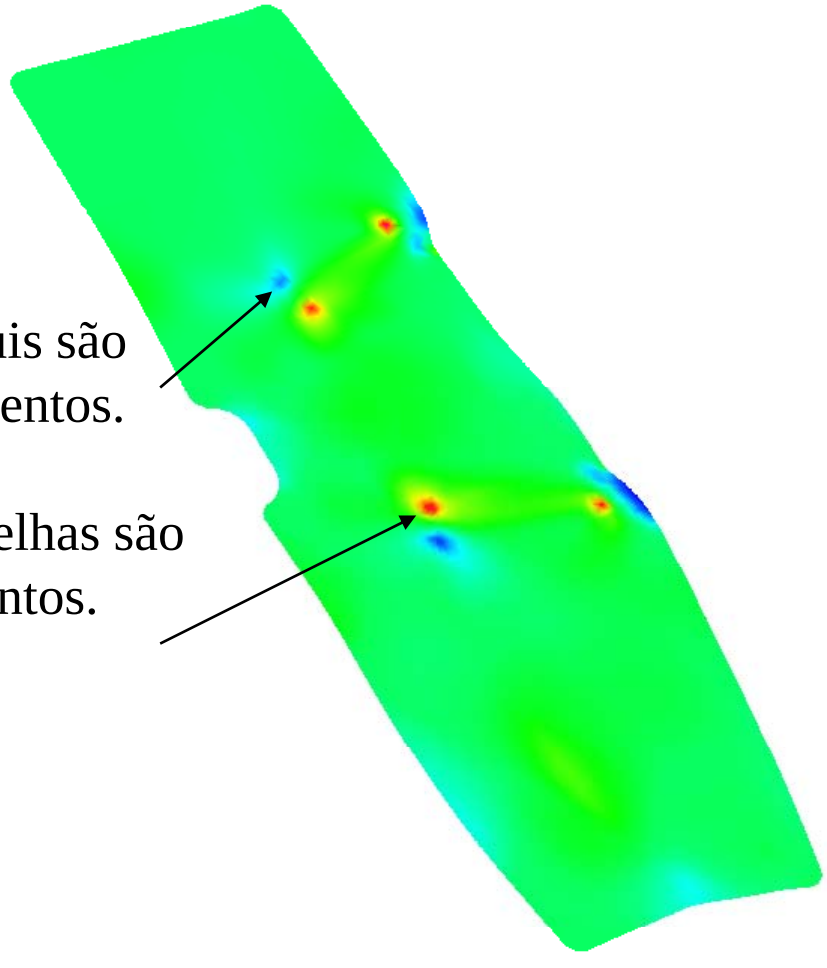
Seus ***resultados devem ser cuidadosamente analisados***, em termos de precisão, e usados para as estimações ou dados iniciais de entrada para o processo de simulação da validação final.

‘ONE- STEP SOLVERS’ (CONTINUAÇÃO)









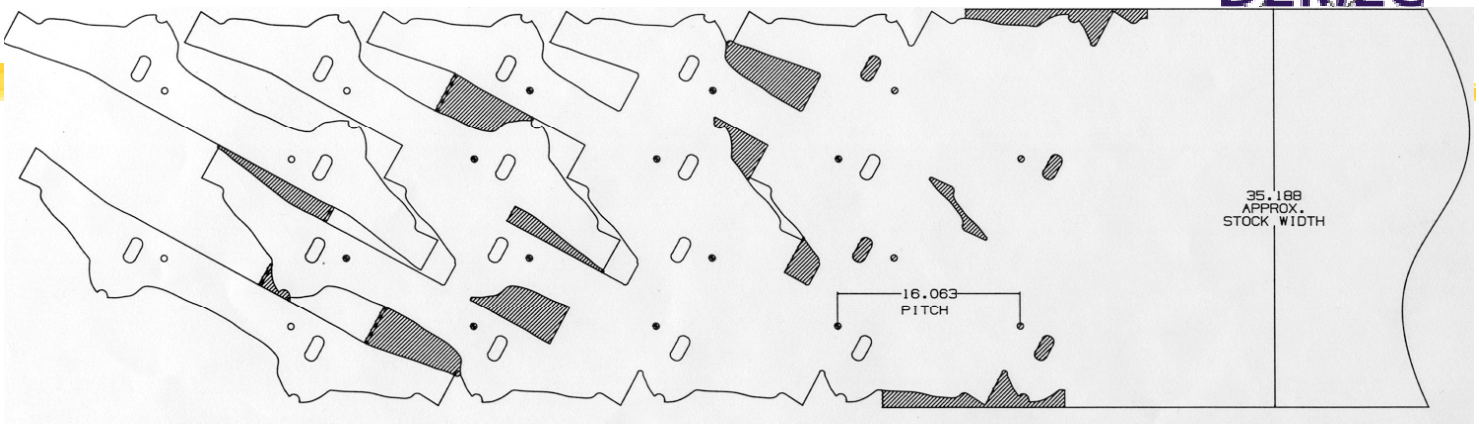
Áreas azuis são espessamentos.

Áreas Vermelhas são afinamentos.

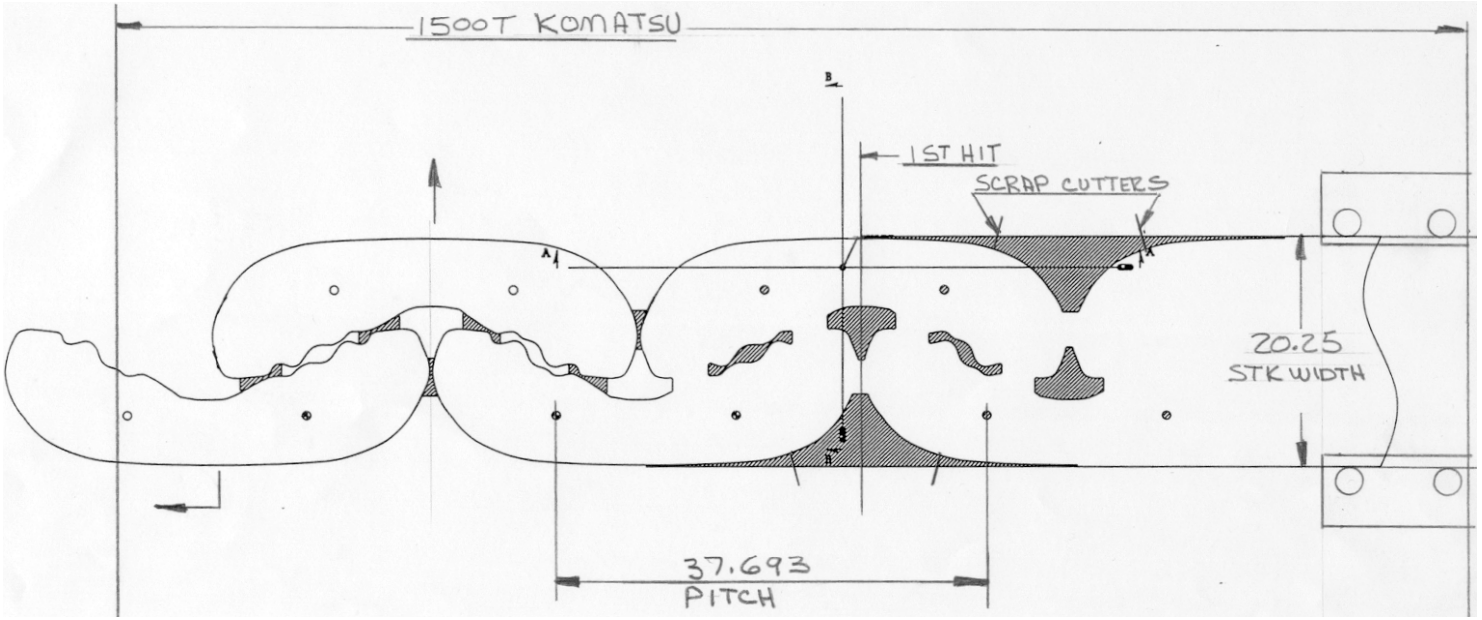
‘One- step solvers’ podem também prever áreas de afinamento

DISPOSIÇÃO DE PEÇAS NA CHAPA 'NESTING'

Para **reduzir refugo de chapa** a foma do blank deve ser desenvolvida e disposta na chapa. A largura da tira (coil width) e tamanho da peça (part pitch) pode ser minimizada para o menor uso de chapa.



Pode-se usar o blank saído do primeiro passe de simulação (one-step simulation) como entrada incremental de simulação para atingir a melhor geometria do blank.



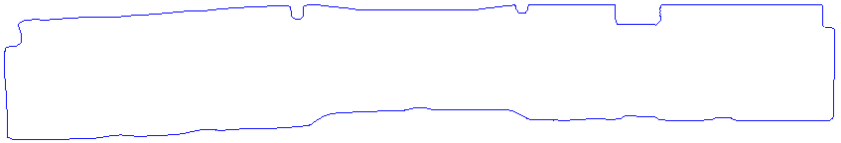
PASSOS DA SIMULAÇÃO

1. Obter a forma inicial do blank (usar um one - step solver - Quickstamp®).

2. Usar esse blank e rodar uma simulação incremental (Optris®).

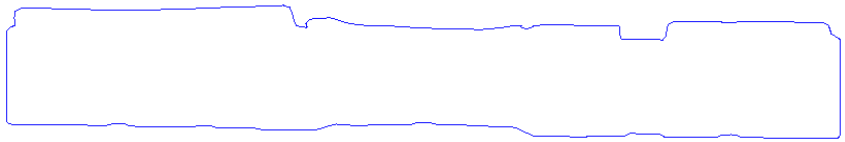
3. Analisar a forma do embutido.

Part twisted or blank development was wrong.



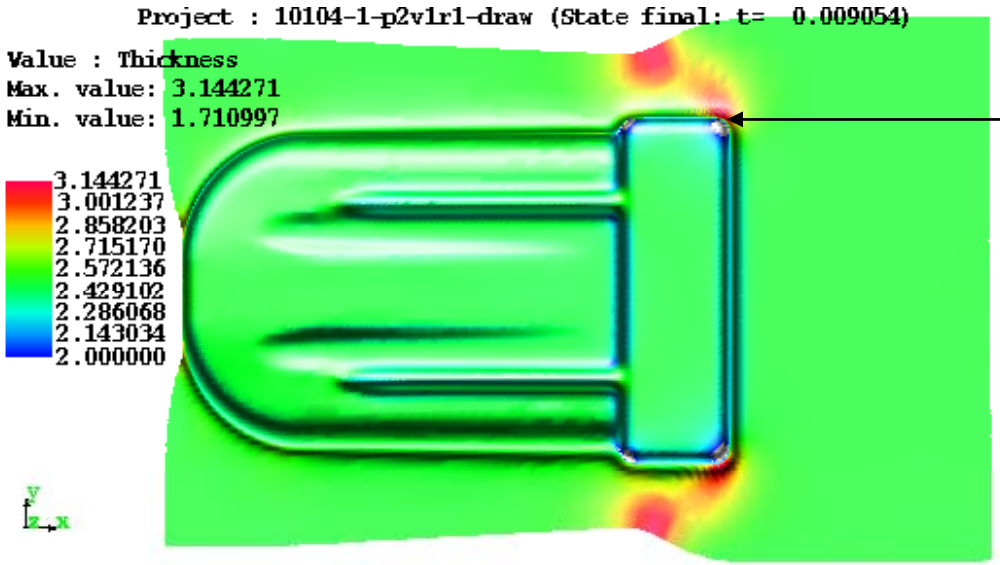
4. Corrigir a forma inicial do balnk e re-simular(step 2 - Optris®).

5. Analisar novamente a forma do blank.



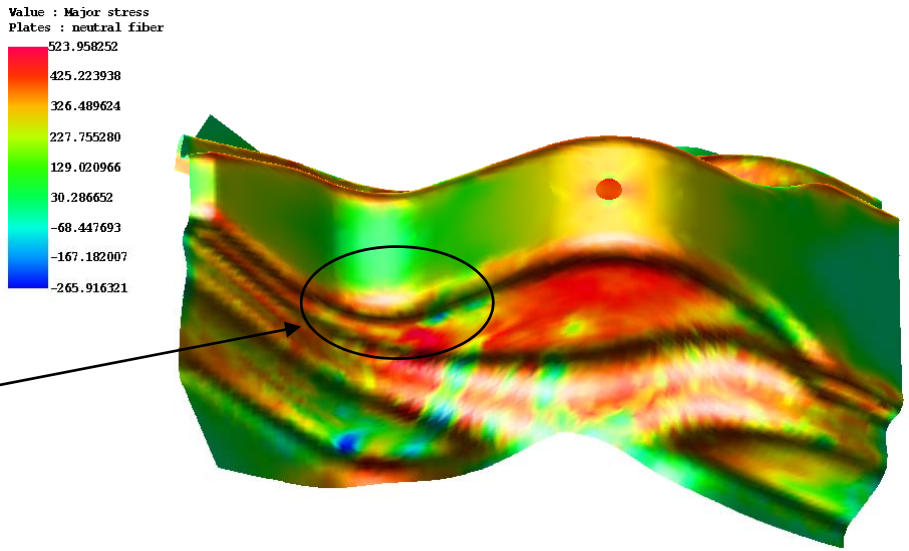
6. Repetir esses passos novamente se necessário até ser considerado aceitável para início do *tryout)*.

AFINAMENTOS E TENSÕES NA PEÇA



Sempre mostrar áreas de afinamento maior que 20%

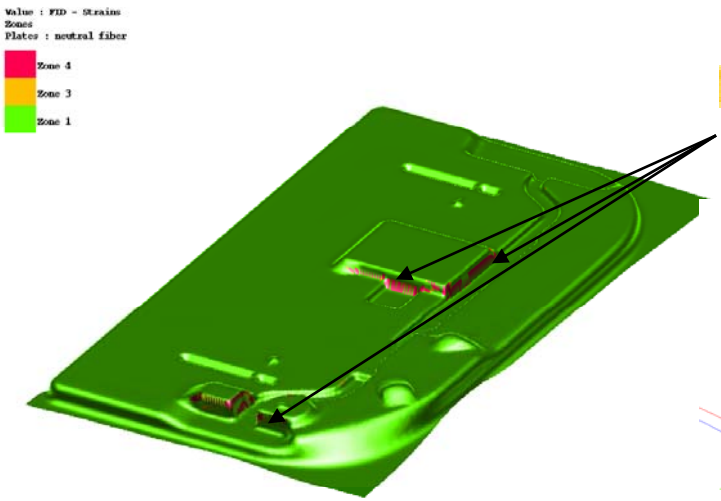
Identificar áreas anormais de alta tensão

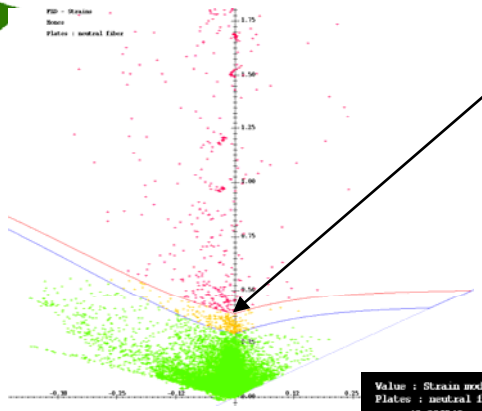


Essa peça requer um **pré-embutimento** pois o **enrugamento** (wrinkle) foi muito severo nessa área. A **alta tensão observada** é a pista para isto.

MODO DE DEFORMAÇÃO E DLC/CLC

Os pontos de falha são mostrados em vermelho DLC (FLD).

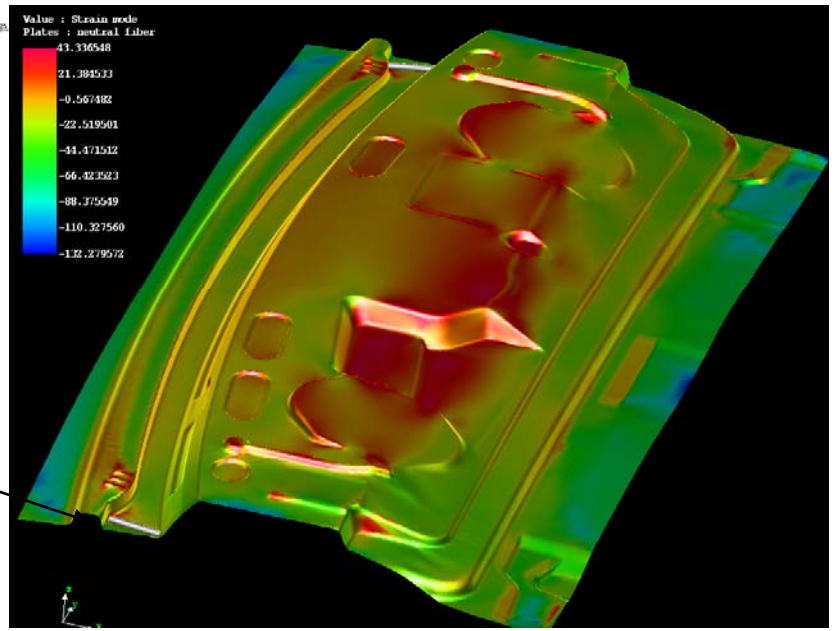




DLC - Áreas acima dessa curva (CLC) mostrará sem dúvida que irão ocorrer falhas.

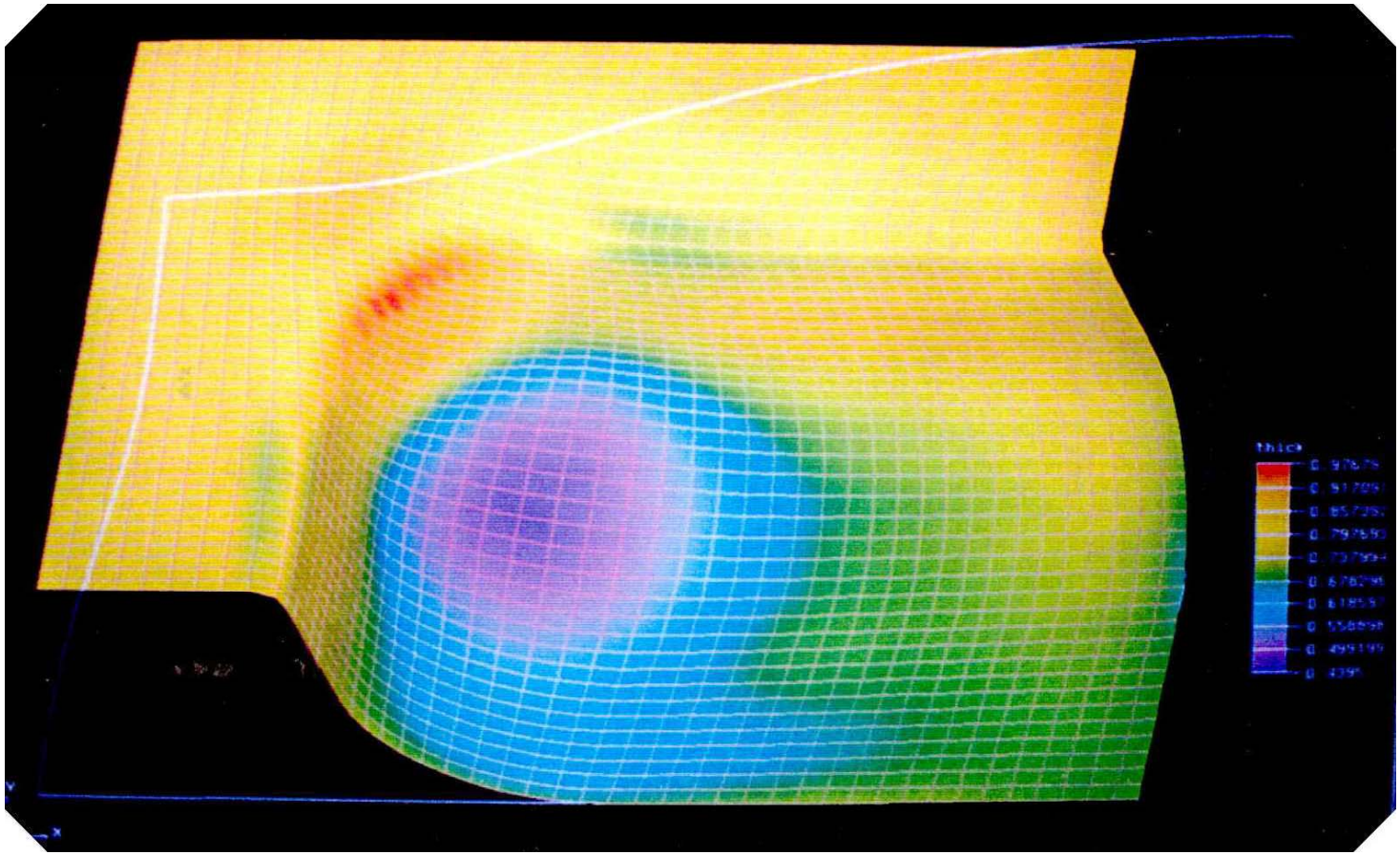
O uso do modo de deformação (strain mode) também é útil. ***Valores positivo são estiramento, zero é EPD e negativos são embutimento***.

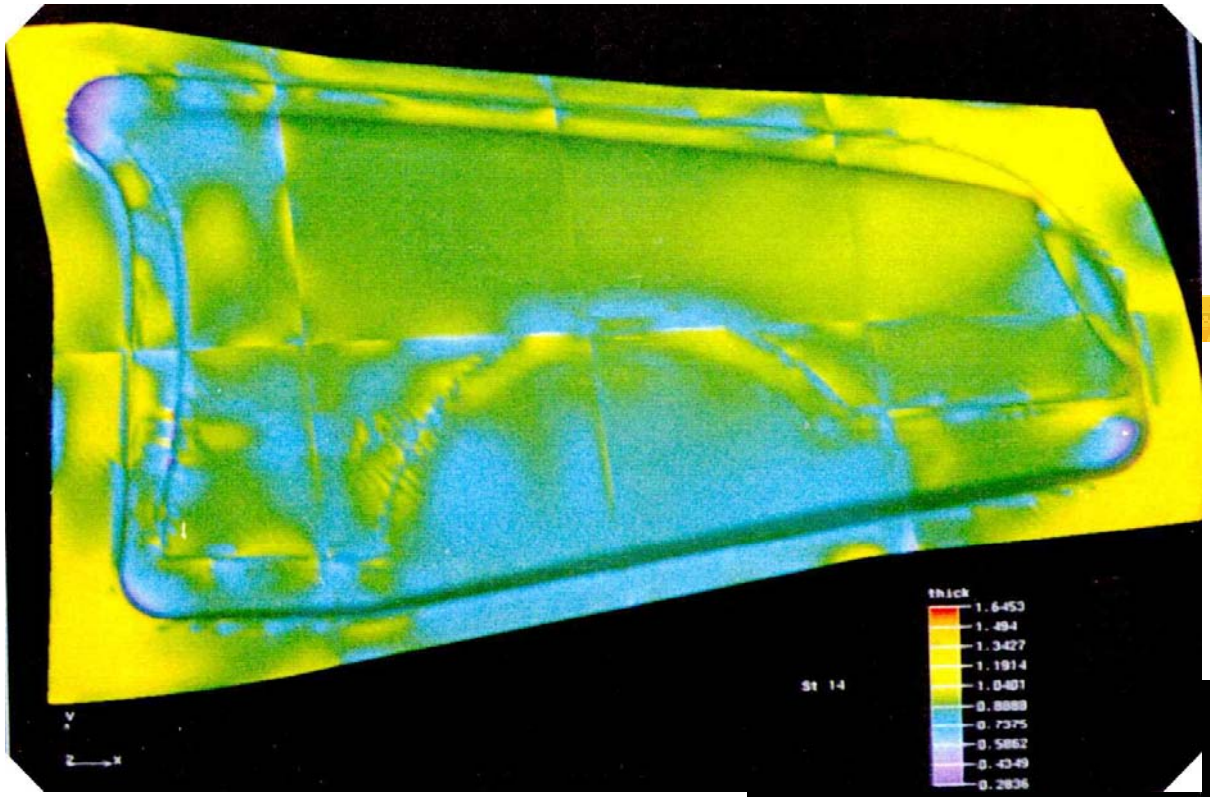
Essa peça saiu do modo de falha EPD quando se colocou cordões esticadores (drawbeads) nos lados.



Simulação de uma etapa de conformação

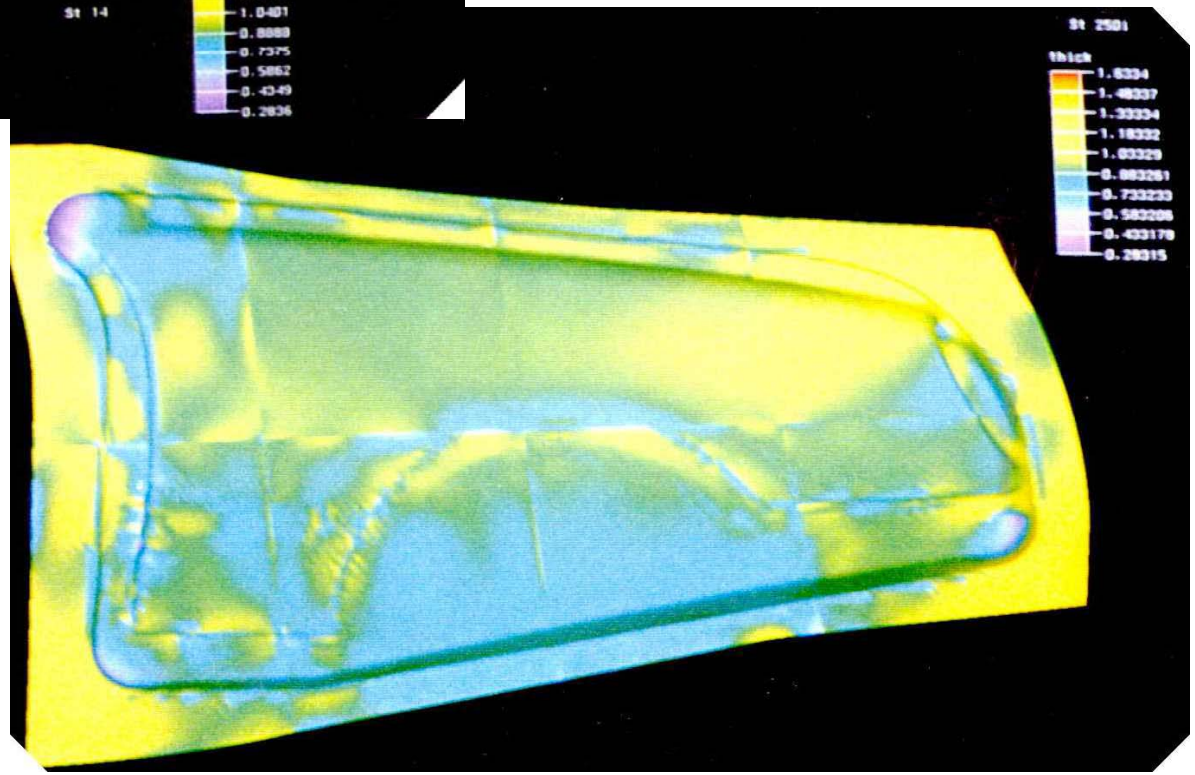
- Altas deformações no fundo





Paralama com
ST 14

Verde -
menor Espessura



Paralama com
ST 250i
(isotropico)
Amarelo -
maior espessura

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Labconf
Laboratório de Conformação Mecânica - UFPR

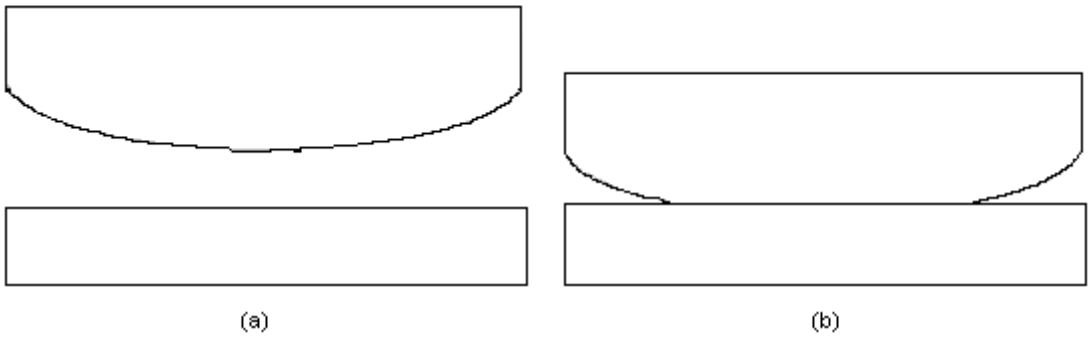
DEMEC ON LINE

CONTATO E ATRITO

Prof. Paulo Marcondes, PhD.
DEMEC / UFPR

CONTATO E ATRITO

Todo processo de conformação mecânica consiste de uma ou mais ferramentas e uma peça, à qual se deseja dar um determinado formato. Assim sendo, **sempre existe uma interação entre diferentes sólidos**.



Contato entre dois corpos: (a) ausencia de condição de contato, (b) estado de contato.

(Adaptado de Ziekiewics e Taylor, 2000)

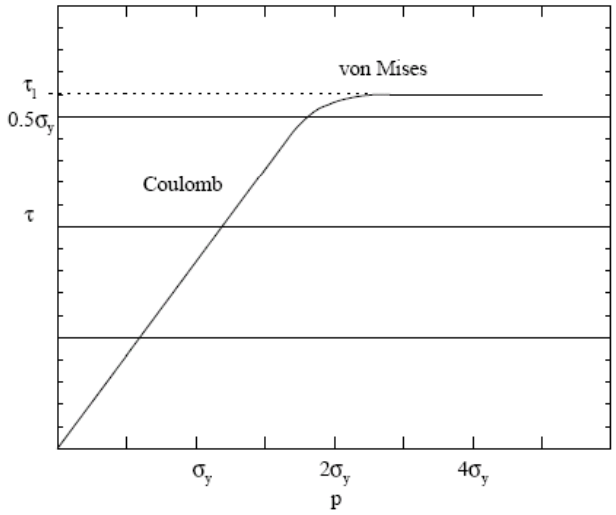
MODELO DE COULOMB

- A primeira **lei de atrito** foi idealizada por Loenardo da Vinci, e sua equação é bastante conhecida:

$$F_T = \mu F_N$$

- A ***primeira parte da curva é chamada de área de Coulomb***, e a relação entre a **força de atrito e a pressão é constante** e representada pelo coeficiente de atrito μ.

- ***Na parte plana da curva***, a força de **atrito atinge a tensão de cisalhamento do material**, e o mesmo começa a sofrer cisalhamento interno, e a força de atrito para de aumentar.



CONDIÇÕES DE ATRITO LOCALIZADO

O regime de lubrificação, pode ser:

- **Elasto hidrodinâmico** (EHD): Não existe contato físico entre as superfícies de contato. As forças são transmitidas completamente pelo lubrificante. O coeficiente de atrito tem um valor bastante baixo, na ordem de ***0,01***.

- **Limítrofe** (LL): Não há contato físico entre as superfícies. As forças são transmitidas inteiramente pelos ***picos de rugosidade da superfície,*** os quais estão em contato físico um com o outro. O atrito é determinado pelas camadas aderidas à superfície. O coeficiente de atrito tem valores geralmente entre ***0,1 e 0,3***.

- **Mista** (LM): Este regime corresponde à condição de atrito entre o regime limítrofe e o regime hidrodinâmico. Nesse caso, a força é transmitida parcialmente pelo lubrificante, e parcialmente pela interação entre as rugosidades superficiais. O coeficiente de atrito nesse regime geralmente encontra-se entre ***0,01 e 0,1***.

Modelamento Embutimento Copo Cilíndrico

ABAQUS

Prof. Paulo Marcondes, PhD.
DEMEC / UFPR

METODOLOGIA EXPERIMENTAL VIA MEF

- **Calibração do modelo**: Nessa etapa,é escolhido o conjunto de parâmetros que melhor representam os resultados apresentados experimentalmente.

- **Pré-Processamento**: Nessa fase serão analisados os dados de entrada necessários na fase de pré-processamento, como dados de geometria, material e carregamento disponíveis experimentalmente, hipóteses simplificativas e o delineamento de experimentos para calibração do modelo serão elaboradas (Ex. ABAQUS, ANSYS/LS-DYNA, PAM STAMP, etc.).

- **Processamento do primeiro caso**: os experimentos definidos na etapa de pré-processamento podem ser simulados através do *software*, ABAQUS, ANSYS/LS-DYNA, PAM STAMP, etc.

- **Pós-processamento**: Nessa etapa, os dados gerados serão analisados e comparados com os dados experimentais utilizando visualizador de resultados (**escolha do usuário**), integrante do *software*.

  A melhor combinação de parâmetros de simulação deve ser escolhida nessa fase.

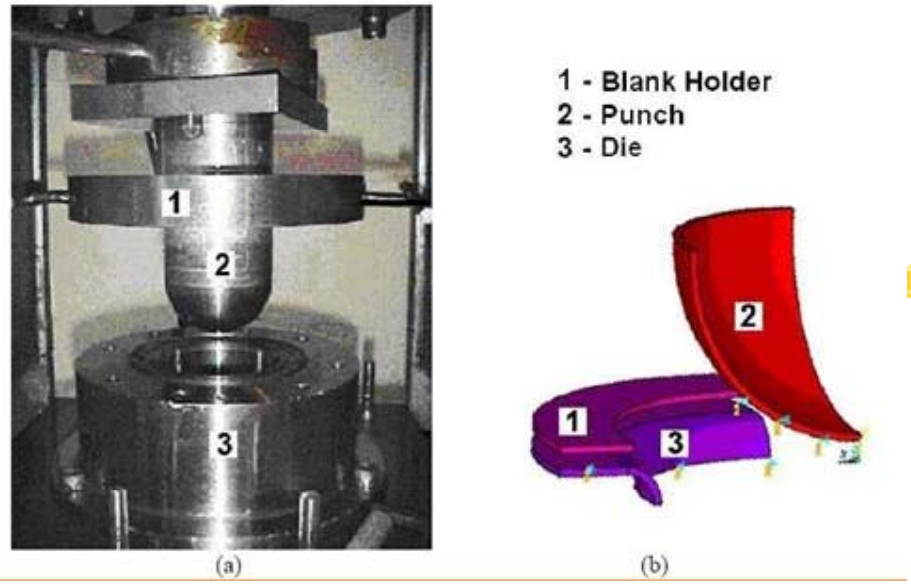
- **Processamento dos demais casos**: Com os parâmetros de simulação selecionados, a simulação pode ser extendida para o caso dos demais casos,

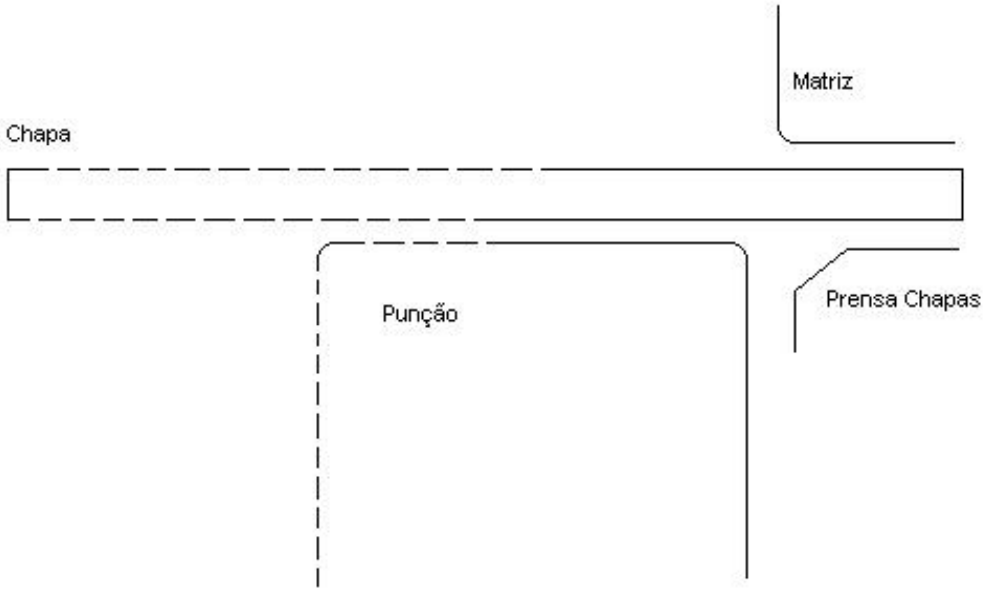
  seguindo novamente as etapas de pré-processamento, processamento e pós-processamento, porém,

  pode-se realizar apenas um experimento para cada caso, uma vez que os conjuntos de parâmetros de simulação já foram selecionados.

MODELAMENTO

SKETCH → delinear o modelamento.



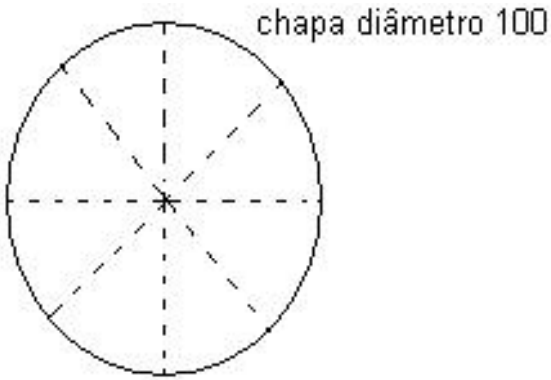


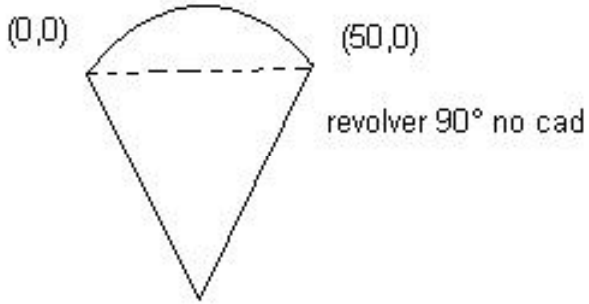
ABAQUS/Explicit units:

Units: N,mm
Length = mm
Force = N
Mass = Tonne (1.0E3kg)
Time = second
Stress = MPa (N/mm^2)
Energy = J
Density = Tonne/mm^3
Conductivity = J/(s.mm.C)
Specific Heat = J/(Tonne.C)

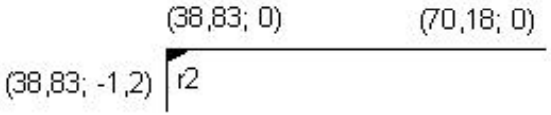
MODELAMENTO

SKETCH

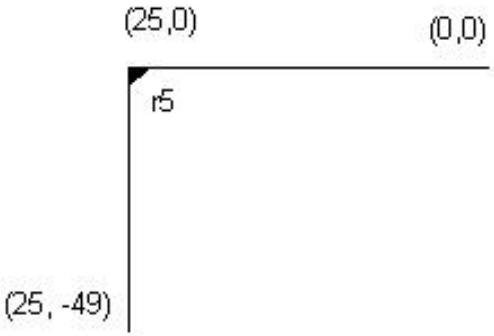




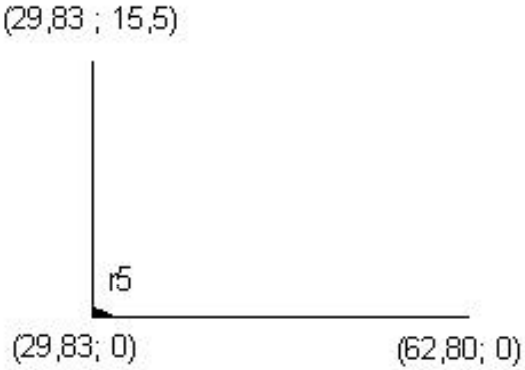
Prensa Chapa



PUNÇÃO



MATRIZ



MODELAMENTO

PART → Criar as geometrias e colocar os pontos de referência (RP) e inércias.

CHAPA, PRENSA CHAPAS, PUNÇÃO e MATRIZ

PROPERTY → Definir as propriedades do material

Density → 7.8e-9 (steel) [tone /mm³]
Mechanical elasticity (ym = 210000 [MPa] e Pr = 0.3)
Mechanical Plasticity (curva de tração x deformação)

Section → criar a seção → shell thickness = 1.2 [espessura da chapa] (definer thickness integration rule e integration points)

Assign → para ligar a seção e a chapa

Property → datum → 3 pontos → cilíndrica → origem (0.0, 0.0, 0.0)

Assign → materials orientation (definir na chapa o sistema de origem criado)

MODELAMENTO

ASSEMBLY → Montando as partes

Constraints (posicionando corretamente os componentes)

Punção = 0.6 em y → selecione o punção e depois a chapa
Matriz = -0.6 em y → selecione a matriz e depois a chapa
Prensa chapas = 0.6 em y → selecione o prensa chapas e depois a chapa

Set das geometrias → para especificar loads (carregamentos) e boundary conditions BC's (condições de contorno)

Surfaces → define as superfícies que entrarão em contato

MODELAMENTO

STEPS → Definição dos passos da simulação (dynamic explicit)

1 - Nome: Prensa chapas sobe → empurra o prensa chapas em direção a chapa

2 - Nome:Aplicação da força pelo prensa chapas → aplicação da força do prensa chapas

3 - Nome: punção sobe → move o punção para cima

MODELAMENTO

STEPS

Fields output request → A, CSTRESS, LE, PE, PEEQ, PS, RF, S, STH, U, V, VE, VEEQ, VS

onde: aceleração dos nodos (spatial acceleration at nodes), tensões de contato (contact stresses), components de deformações logaritmicas (logarithmic strain components), components das deformações plásticas (plastic strain components), deformações plásticas equivalents (equivalent plastic strain), forces de reação (reaction force), components de tensão (stress components), deslocamentos espaciais dos nós (spatial displacement at nodes), velocidades espaciais dos nós (spatial velocity at nodes).

History outputs requests → dados de saída que serão gravados nas interações durante a simulação - resultados para a chapa (deformações, tensões, afinamento) e reações (tensões e deslocamentos) na matriz, prensa chapas e punção.

MODELAMENTO

INTERACTIONS

Definir o atrito das interações:
name: atrito (friction) para chapa e punção e chapa e prensa chapas →friction coefficient →0.12
name: atrito (friction) para chapa e matriz → friction coefficient →0.0225

Criar as interações:
name: Prensa chapas – parte inferior chapa
name: Punção – parte inferior chapa
name: Matriz – parte superior chapa

MODELAMENTO

LOAD

Condições de contorno → fazer as **BC**'s para cada um dos passos (steps).
Limitações (constraints) para cada parte do modelamento.

*BC's para o Step 1 (*o step inicial não conta – é criado automaticamente)

Fixa punção → restring todos os movimentos
Fixa prensa chapas → restringe todos os movimentos porém coloca u2 = 0.00012 o que vai fazer andar para cima-positivamente (pequena pressão do prensa chapas para causar um pequeno movimento para cima e fixar a chapa - serve para evitar vibração da chapa no contato)
Fixa matriz → restringe todos os movimentos (tudo selecionado e zero)
Fixa chapa em x → restringe movimentos em XSYMM (u1 = ur2 = ur3 = 0)
Fixa chapa em z → restringe movimentos em ZSYMM (u3 = ur1 = ur2 = 0)

MODELAMENTO

LOAD

BC's para o Step 2:
Remove as restrições para mover o blank holder para cima. O blank holder deve ser liberado totalmente no movimento na direção y.

BC's para o step 3:
Move o punção para cima para a operação de embutimento..

Carregamento → fazer o carregamento do prensa chapas (**load**):

Força do prensa chapas → 10000 → deve aparecer o carregamento no ponto de referência (RP) do prensa chapas (seta de carregamento para cima).

MODELAMENTO

MESH

Malhar a chapa.
Element type → explicit → shell → reduced integration (S4R)
Seed → size (tamanho da malha) → 1.0
Mesh → part (part)→ Yes

JOB

Job → create → name: _____ (criar)
Job → submit → name (mandar rodar)
Job → monitor → name (monitorar)

MODELAMENTO

POSTPROCESSING

VERIFICATION

Open → file.odb → tools → display group → create → part instance → chapa → replace → dismiss → clica na opção de forma deformada (deformed shape) na area de trabalho (prompt area) → animate: time history

Visualizar deformação plástica ou tensões (Misses):
Results (menu principal) → Field outputs → PE → máxima ou mínima (escolher).

Tools → query → probe values → ok → select variables → click deformed surface →passa o mouse pela chapa deformada e pode visualizar os dados para cada nó localizado.

Pode-se gravar os dados como nome.rpt → o arquivo será gravado na pasta temp →esse arquivo abaqus.rpt (gerado na pasta temp) contém os dados para se plotar em excel.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chang, T. C., Wysk, R. A., Wang, H. P. (1998) Computer-aided manufacturing. Prentice Hall.

Ferziger, J. H., Peric, M. (2001) Computational Methods for Fluid Dynamics, 3 rd Edition, Springer, Berlin.

Groover, M., (1996) Fundamentals of Modern Manufacturing. Prentice Hall, New Jersey.

Kalpakjian, S., (1997) Manufacturing Processes for Engineering Materials, third ed. Addison Wesley, Harlow, England.

Minders. T.; Boogaard, A. H.; Huétink, J. (2003) Improvement of implicit finite element code performance in deep drawing simulations by dynamics contributions, Journal of Materials Processing Technology, 134, 13-420.

MSC Software, (2005) The Principles of nonlinear Analysis, An introductory guide to nonlinear analysis, v. 5, p. 20-24.

Nikhare, C.; Marcondes, P. V. P.; Weiss, M.; Hodgson, P. D.; (2008) Experimental and numerical evaluation of forming and fracture behaviour of high strength steel. Proceedings of the Conference on New Developments on Mettalurgy and Applications of High Strength Steels, 2008, Buenos Aires, Argentina.

Oberkampf, W. L., Trucano, T. G., Hirsch, C. (2004) Verification, validation and predictive capability in compational engineering and physics. Applied Mechanics Reviews, v. 57, pg. 345-384, ASME, New York.

Rust, W. (1999) Finite Element Limit Load Analysis of Thin-Walled Structures by Ansys (Implícito), Ls-Dyna (Explicit) and in Combination, Cad-Fem – Marktplatz, Co., Grafing.

Paulo Victor Prestes Marcondes - Possui pós-doutorado pela Universidade de Deakin, em Geelong, na Australia (2007) e Universidades da California em San Diego (1996) e Pennsylvania (1996) nos EUA. Obteve seu doutoramento em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade de Birmingham na Inglaterra (1995). Obteve o mestrado em Engenharia Mecânica (1991) e a graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1989). Atualmente é professor associado I da Universidade Federal do Paraná atuando na graduação e pós-graduação (mestrado e doutorado) do Departamento de Engenharia Mecânica. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em Conformação Mecânica, atuando principalmente nas áreas de conformação de chapas, ferramentas de conformação (matrizes e moldes) e simulação computacional.