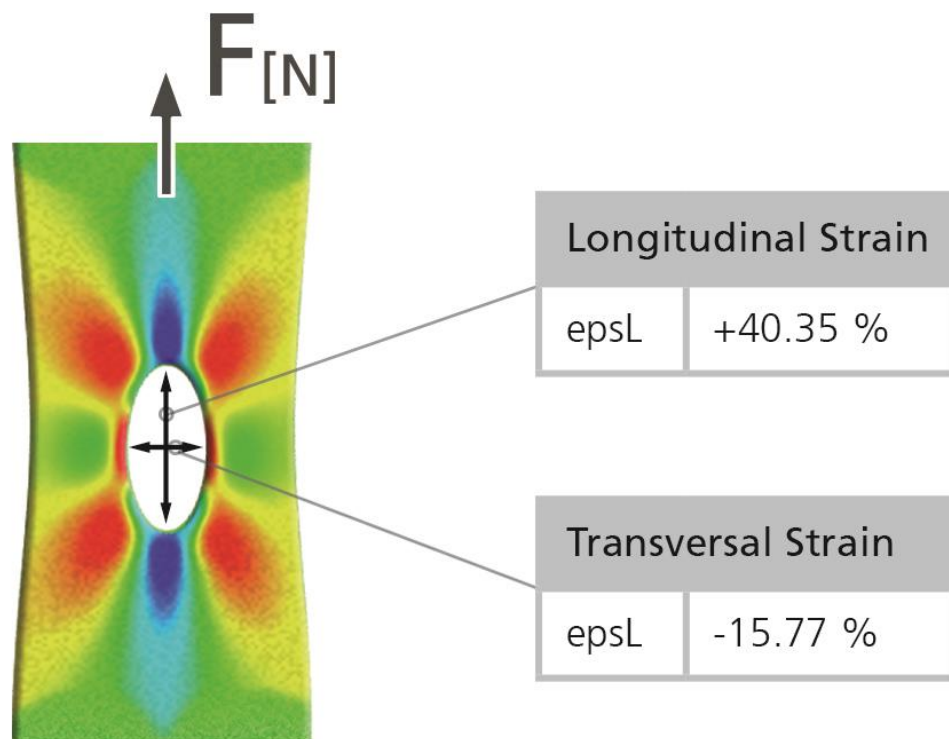


USER MEETING 2018

## Determinação de curvas CLC FLC: Case ArcelorMittal

Eng. Marden Souza  
Eng. Lucas Rosa



# A GOM é uma empresa de tecnologia

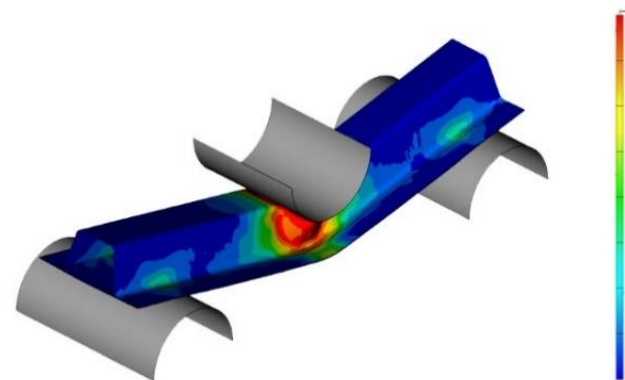
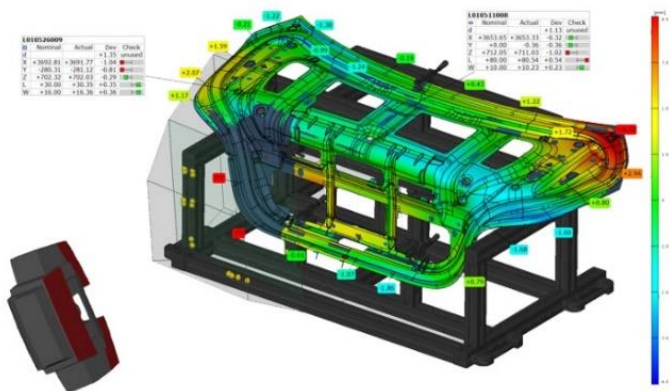


A GOM é uma parceira global industrial com mais de 20 anos de experiência desenvolvendo e produzindo soluções de metrologia óptica 3D.

Hardware e Software

Medições por coordenadas 3D

Testes de materiais e componentes

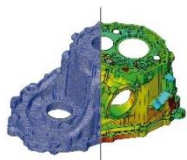


# Soluções de Metrologia 3D GOM



## ATOS

Scanner 3D de  
Campo Completo



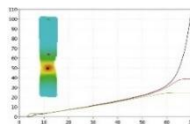
## TRITOP

CMM Óptica Móvel



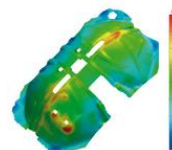
## ARAMIS

Análise de  
Deformação 3D



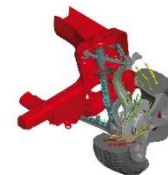
## ARGUS

Análise Óptica de  
Formabilidade



## PONTOS Live

Análise de Movimento  
3D e posicionamento  
de componentes



GOM Inspect



GOM Correlate

# ARAMIS Análise Óptica de Deformação 3D



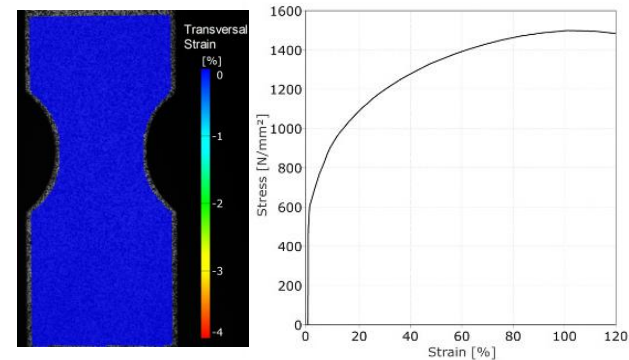
## Determinação das propriedades do material e teste de componentes

- Coordenadas 3D da superfície
- Deslocamento 3D, velocidade e aceleração
- Taxas de deformação
- Resistência

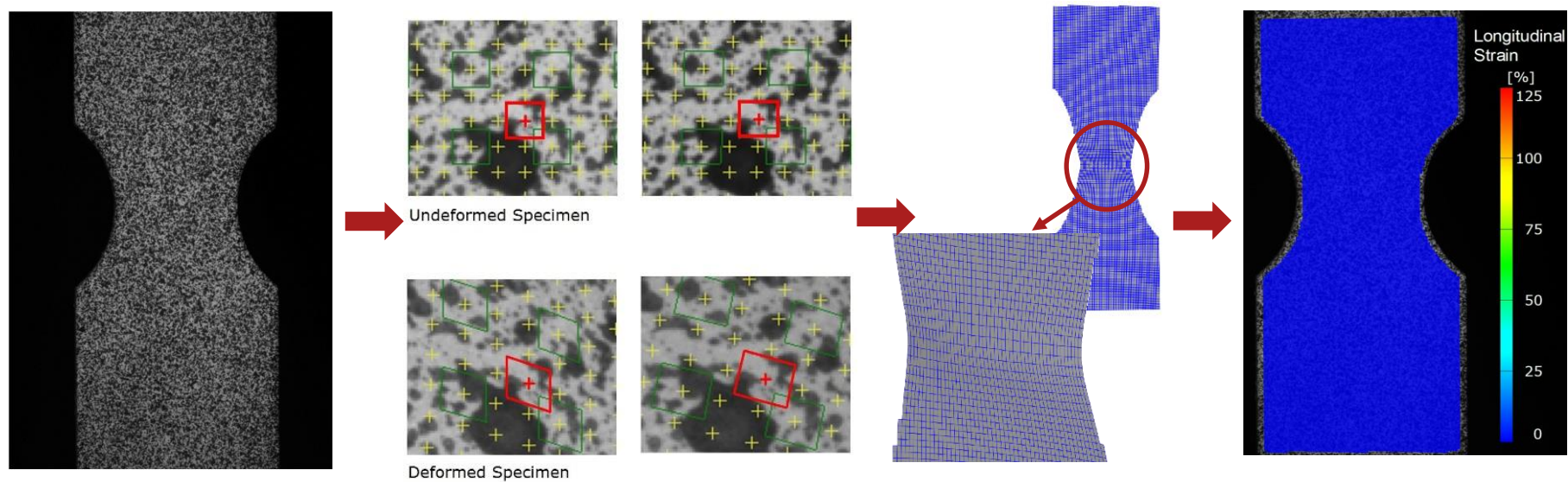


## Aplicações

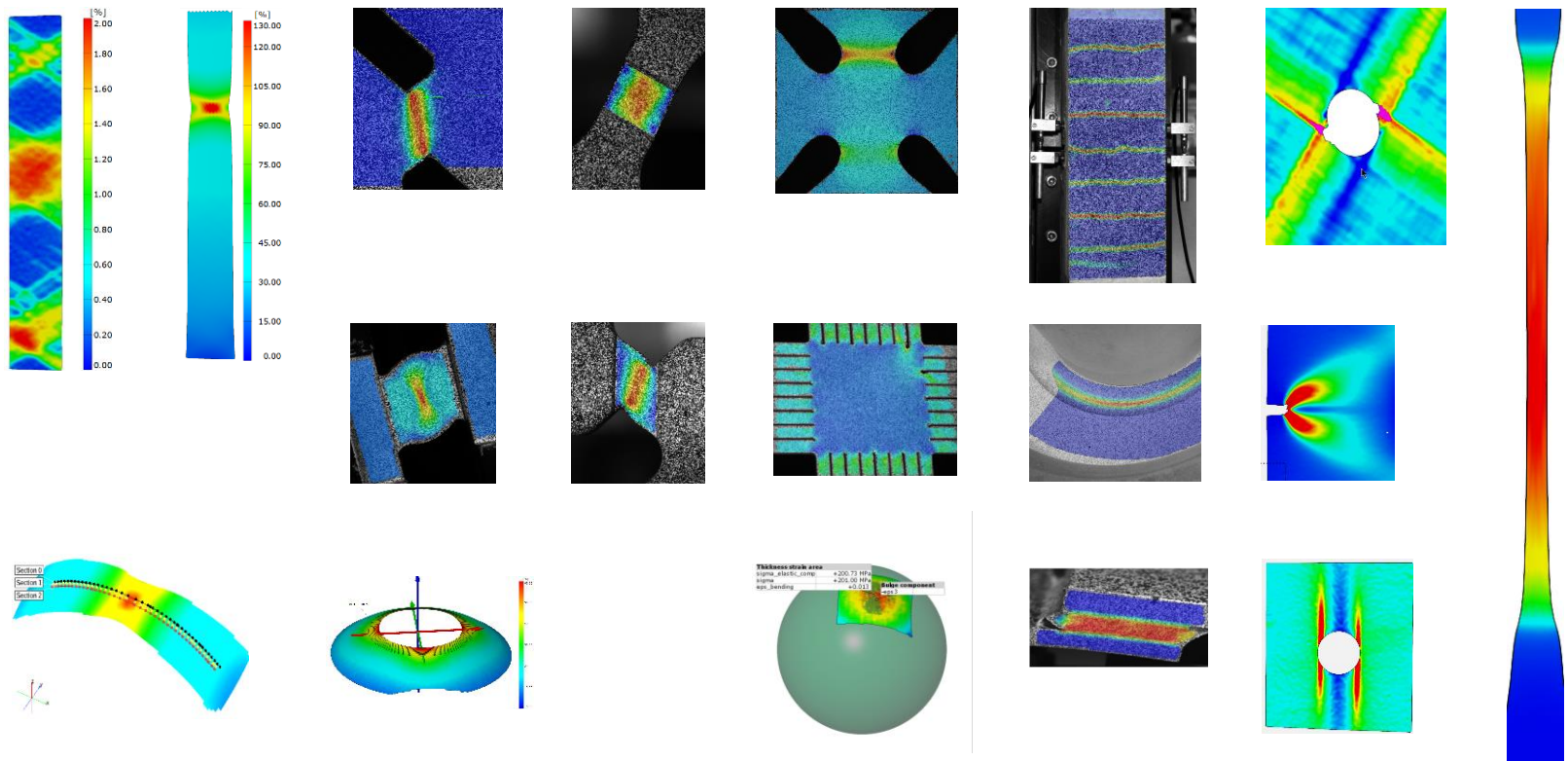
- Determinação das propriedades dos materiais
- Comportamento dinâmico dos componentes
- Análise de componentes
- Teste estrutural e vibrações
- Verificação de simulações de Elementos Finitos
- Controle de máquinas de teste em tempo real
- Testes de colisão e de impacto
- Estudos de durabilidade e fadiga



## ARAMIS Análise Óptica de Deformação 3D a



# ARAMIS Para Teste de Materiais



Determinação de curvas CLC e FLC: Case ArcelorMittal  
Eng Marden Souza | UserMeeting 2018



# Aplicações ArcelorMittal Utilizando ARAMIS



ARAMIS Adjustable Base 6M

Adquirido em Março de 2017

Objetivos:

- Ensaio de Tração
- Ensaio de Expansão de Furo
- Ensaio para determinação da CLC
- Ensaio Bulge (Futuro)



## Ensaio de Tração





# Ensaio de Tração



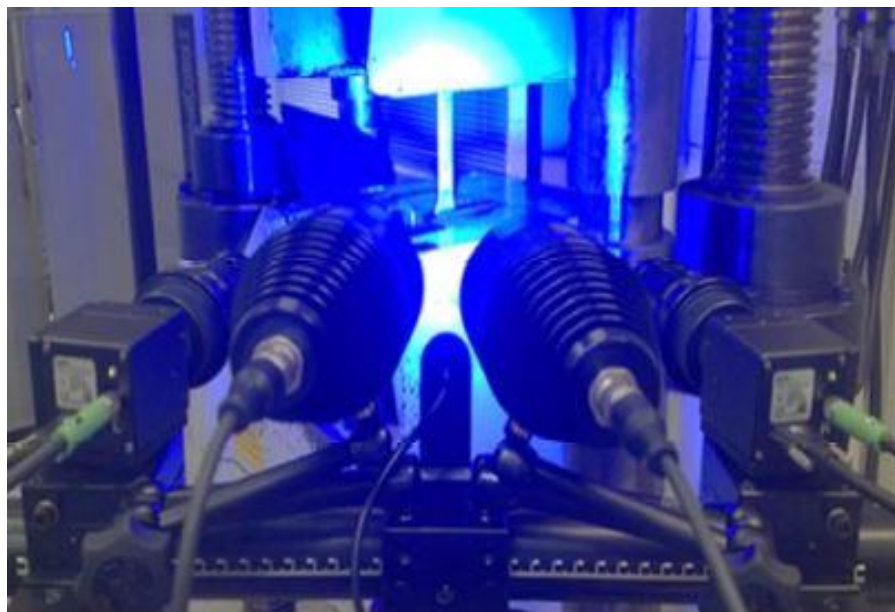
## **Medição de Campo Completo 3D com ARAMIS**

Determinação dos  
parâmetros dos materiais

Aços longos e Aços Planos

Distribuição de Deformações

Análise de efeitos locais



# Ensaio de Tração



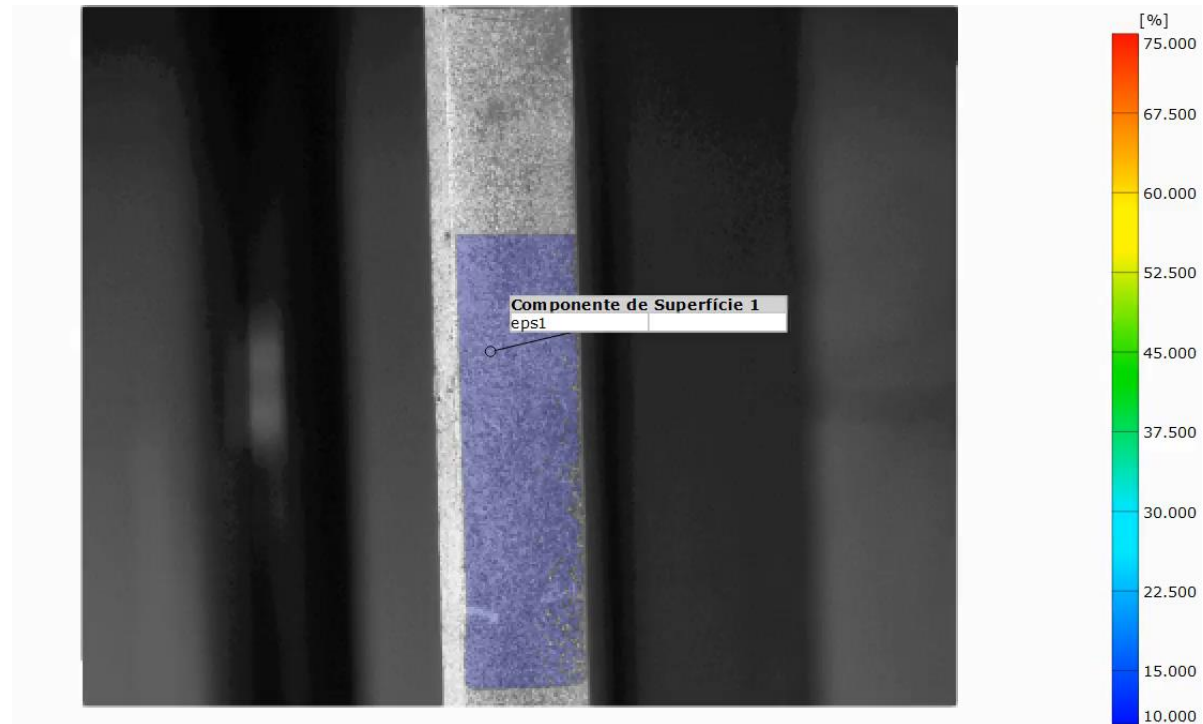
## Medição de Campo Completo 3D com ARAMIS

Determinação dos  
parâmetros dos materiais

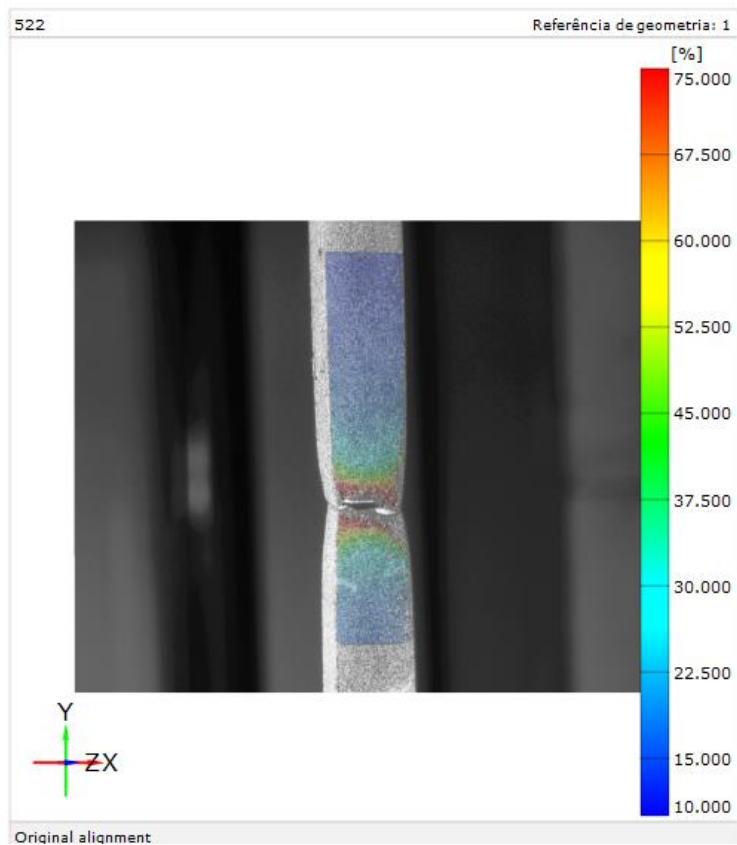
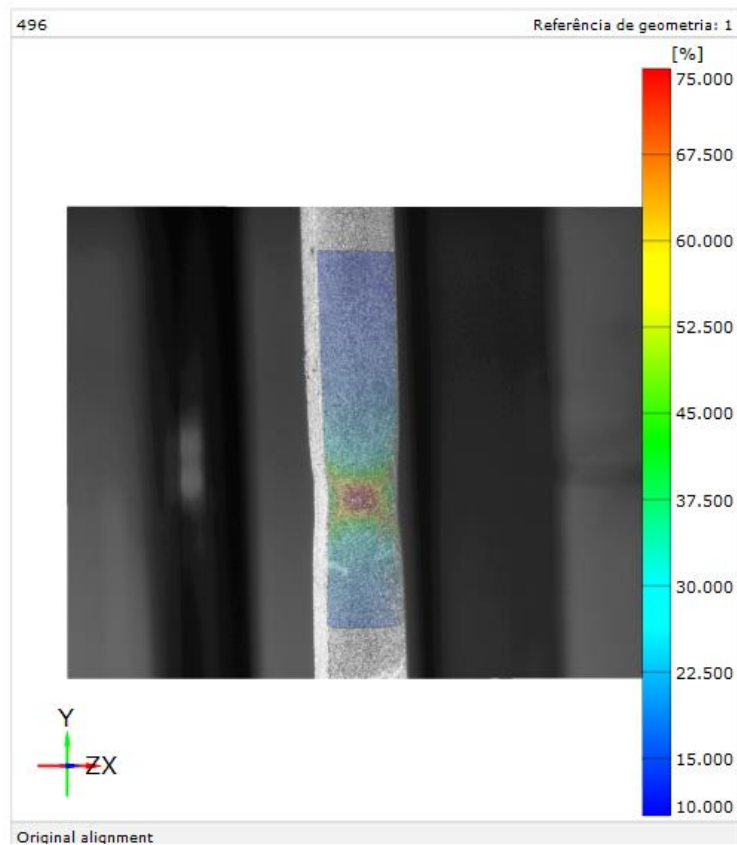
Aços longos e Aços Planos

Distribuição de Deformações

Análise de efeitos locais



# Ensaio de Tração



# Ensaio de Tração



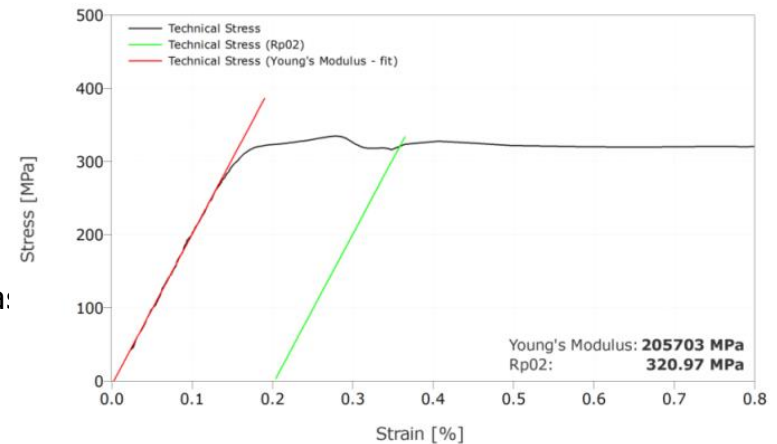
## Avaliação de Resultados Utilizando ARAMIS

Correlação Digital de Imagem (DIC)

Pós Processamento de dados da Medição 3D

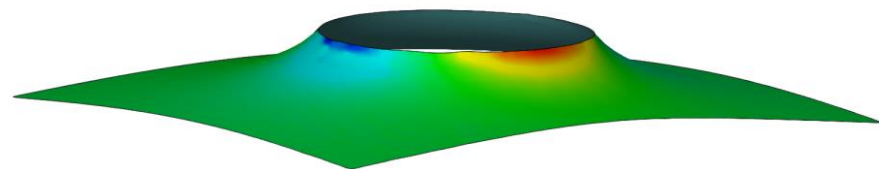
Permite o Cálculo de Importantes Características dos materiais:

- Young's modulus
- Poisson ratio
- $R_{p0.2\%}$
- $R_m$ ,  $A_g$
- R-Value
- N-Value



## Ensaio de Expansão de Furo

Análise da Sensibilidade das Trincas de Borda

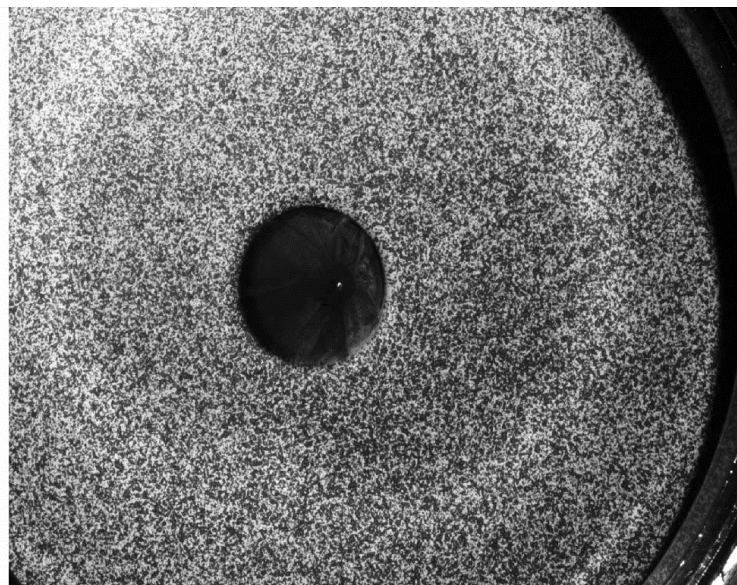


# Ensaio de Expansão de Furo

Aços de alta resistência possuem elevada sensibilidade para formação de trincas nas bordas

Trincas de borda estão relacionadas ao processo de fabricação dos blanks por:

- Corte a Laser
- Corte por Jato D'água
- Fresagem
- Estampagem progressiva
- Corte fino
- Eletroerosão (EDM)



# Ensaio de Expansão de Furo

## ISO 16630

blanks com furo extrudado

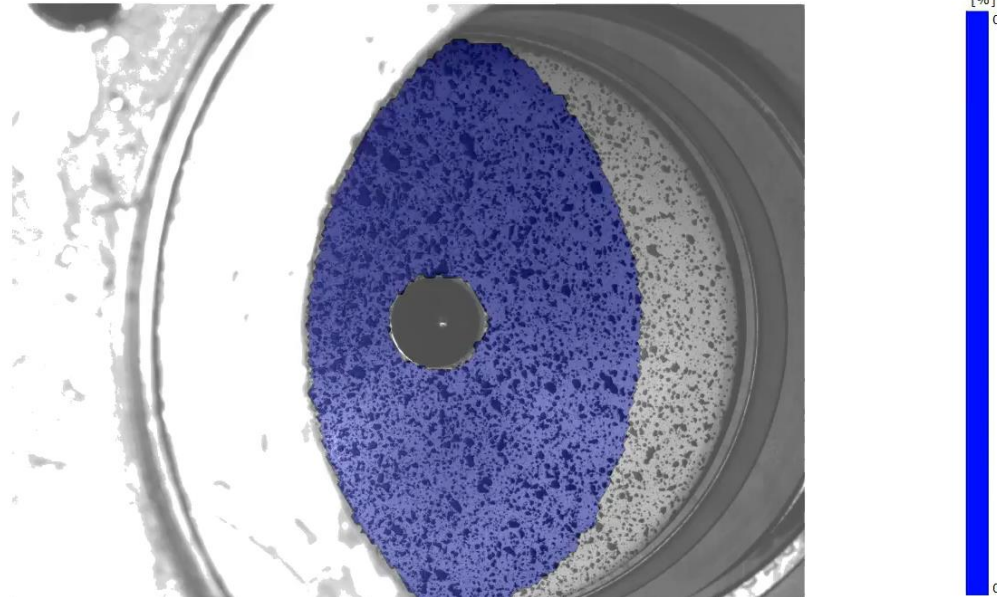
Punção cônico para expandir o furo

Teste é finalizado após o surgimento da primeira trinca

Taxa de Expansão de Furo  $\lambda$  [%] é calculado:

$$\lambda = \frac{D_h - D_0}{D_0} \times 100$$

$\lambda$  Taxa de Expansão do Furo [%]  
 $D_0$  diametro inicial [mm]  
 $D_h$  diametro final [mm]





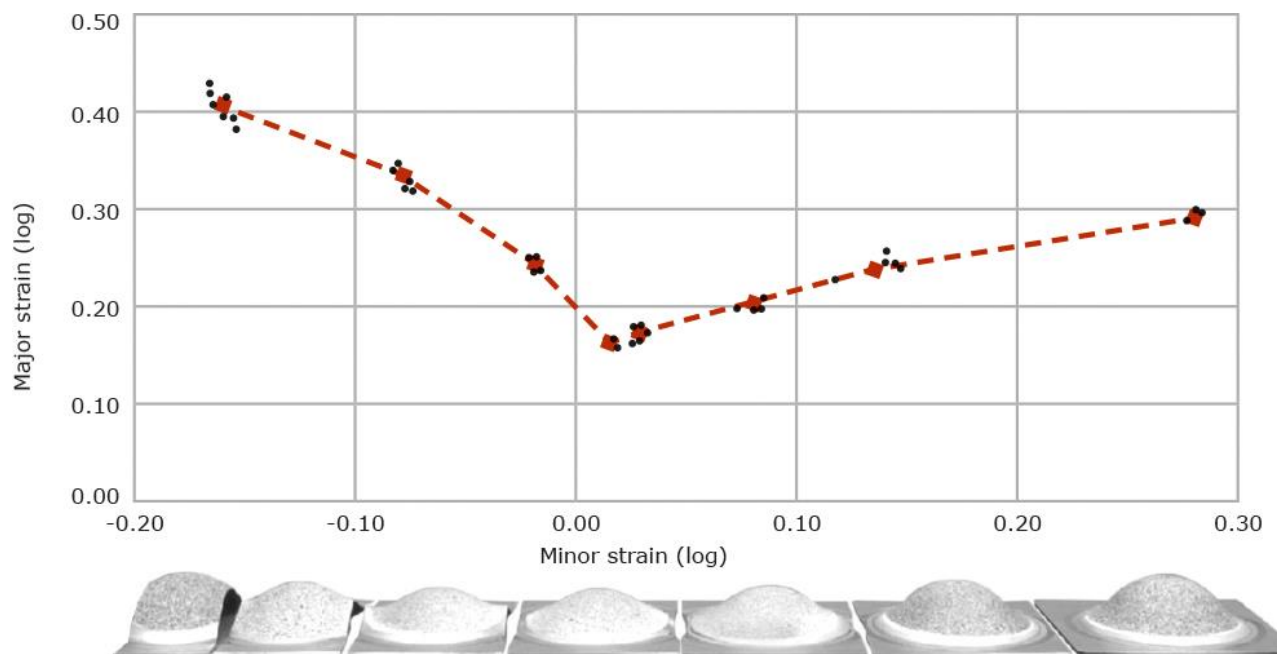
# Ensaio de Expansão de Furo



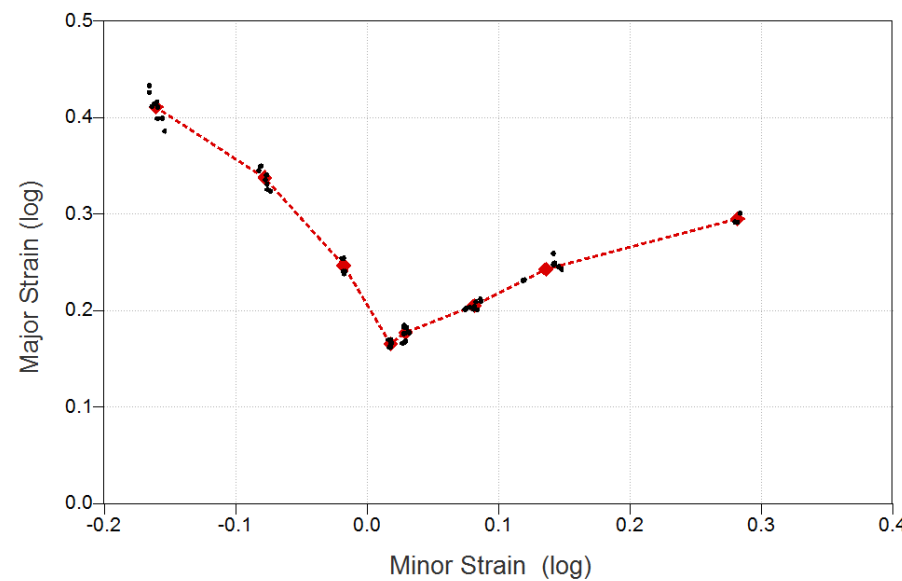
Ganho na precisão dos resultados e na Ergonomia do técnico do ensaio.



# Aplicação ARAMIS para Levantamento da CLC



## O que é Curva Limite de Conformação?



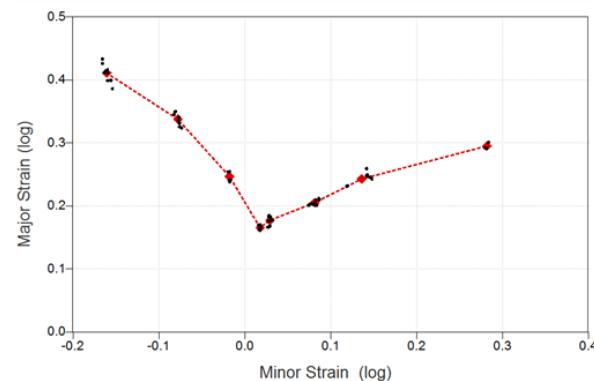
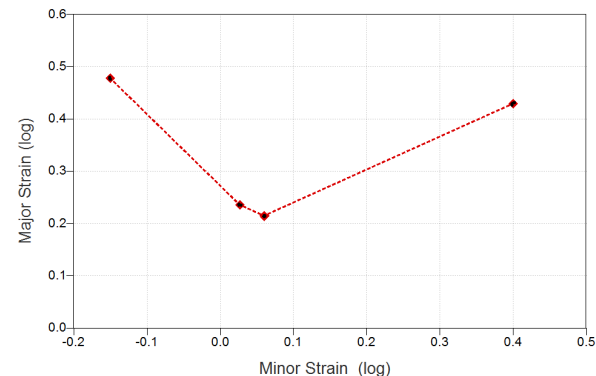
# Análise de Estampabilidade



## O que é Curva Limite de Conformação (CLC)?

Curva dos parametros do material descrita pelo limite de formabilidade de chapas

A CLC representa o range de formabilidade entre a deformação uni-axial e bi-axial



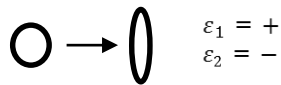
# Condições de Deformação

## O que é Curva Limite de Conformação (CLC)?

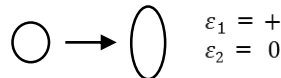
Curva dos parametros do material descrita pelo limite de formabilidade de chapas

A CLC representa o range de formabilidade entre a deformação uni-axial e bi-axial

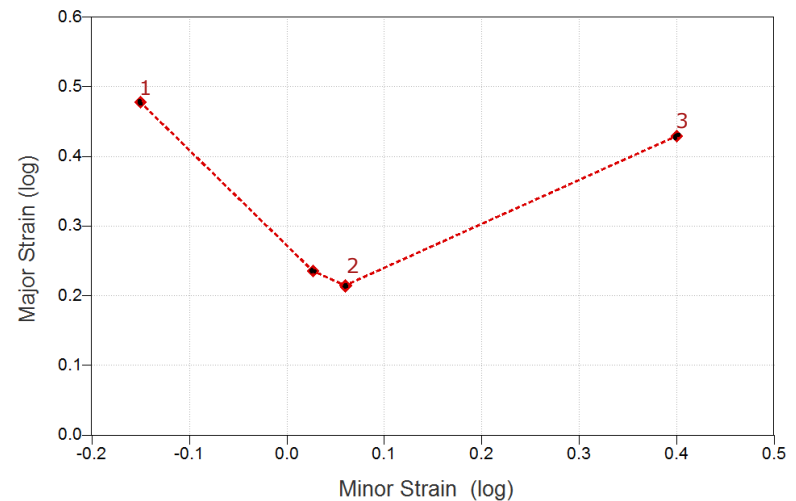
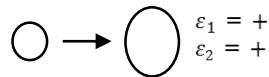
1: Deformação Uni-axial



2: Deformação Plana



3: Estiramento Bi-axial



# Aplicações



## Aplicações

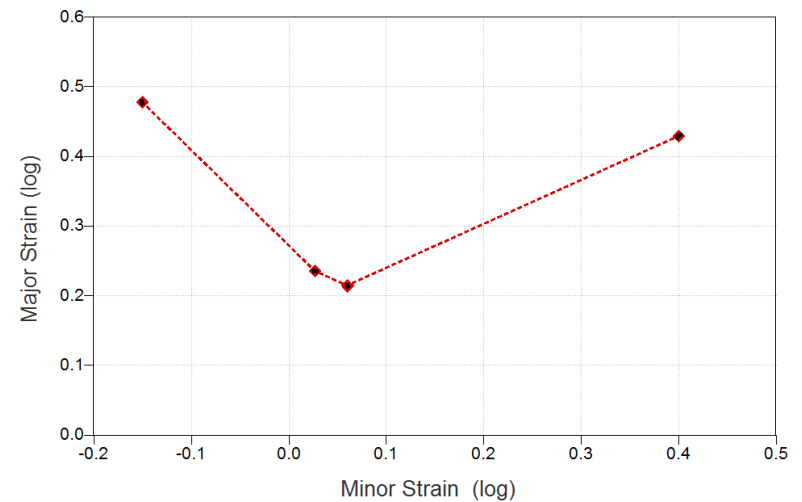
Analise de Formabilidade

Caracterização do Material

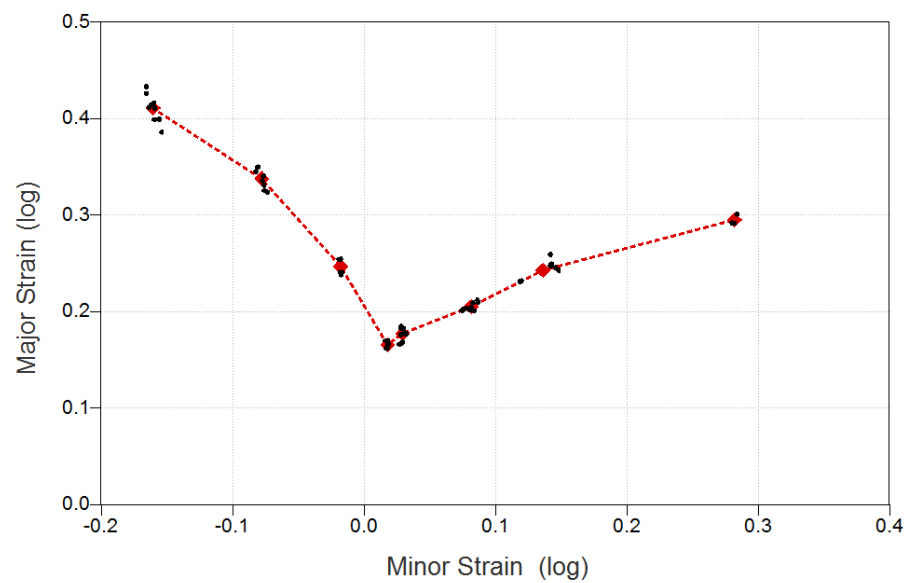
Validação dos fornecedores de Aço e Alumínio

Indústria Automotiva

Indústria de Bens de Consumo



## Procedimento para o Teste CLC



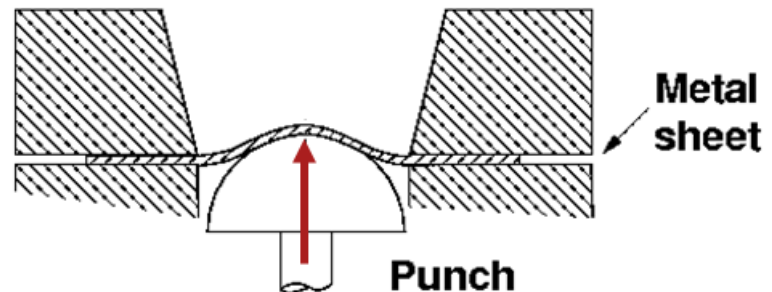
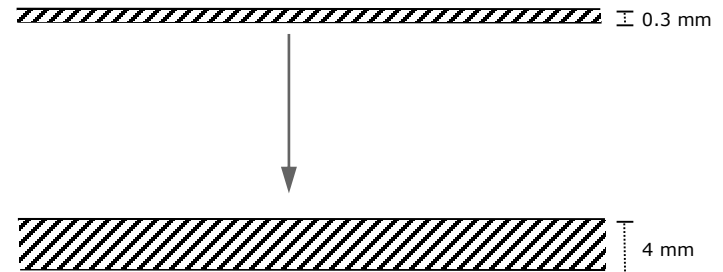


# Setup do Teste

## Procedimento para o teste CLC

A ISO 12004 descreve o procedimento para o teste e avaliação da determinação da CLC para chapas com espessura entre 0.3mm and 4mm

O teste de Nakajima é realizado com corpos de prova metálicos mecanicamente deformados com um punção semisférico com diâmetro de 100mm e velocidade de 1mm/s - 2mm/s



# Máquinas para o Ensaio



## Procedimento para o teste CLC

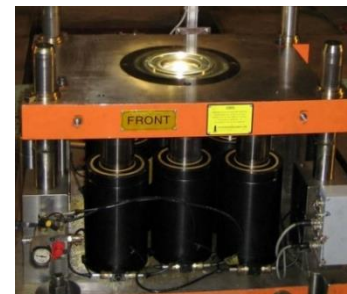
A ISO 12004 descreve o procedimento para o teste e avaliação da determinação da CLC para chapas com espessura entre 0.3mm and 4mm

O teste de Nakajima é realizado com corpos de prova metálicos mecanicamente deformados com um punção semisférico com diâmetro de 100mm e velocidade de 1mm/s - 2mm/s

Máquinas padrões para o teste

- Erichsen, Interlaken, Zwick, etc.
- Ferramentas padrões integradas

Ferramentas customizadas utilizadas em prensas

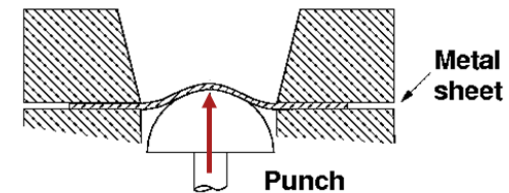


# Geometrias dos Corpos de Prova

## Procedimento para o teste CLC

O teste de Nakajima é realizado com corpos de prova metálicos mecanicamente deformados com um punção semisférico com diâmetro de 100mm e velocidade de 1mm/s - 2mm/s

Diferentes geometrias dos corpos de prova são necessários para resultar as deformações uni-axial a bi-axial



# Ensaiaando o Menor Ponto de Deformação

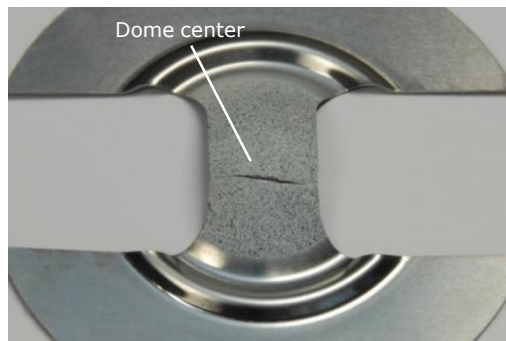
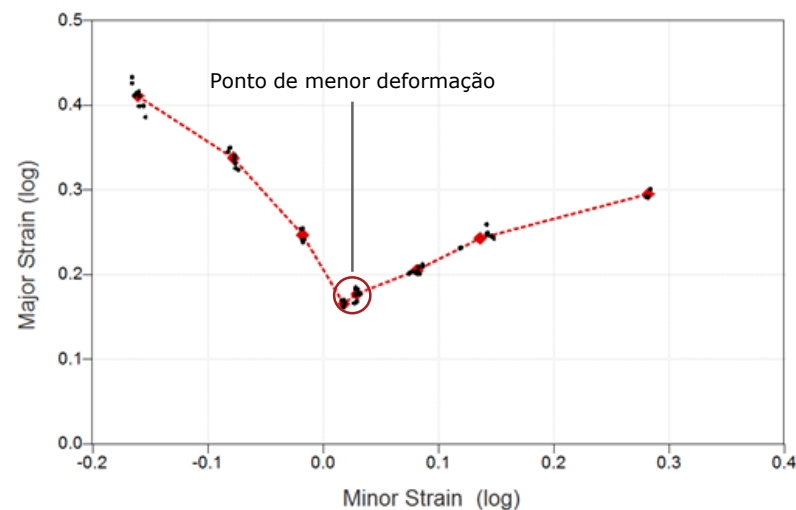
## Procedimento para o teste CLC

Diferentes geometrias dos corpos de prova são necessários para resultar as deformações uni-axial a bi-axial

A ISO 12004 especifica no minimo 5 diferentes geometrias com três repetições de cada

È importante ensaiar na CLC o ponto de menor deformação principal

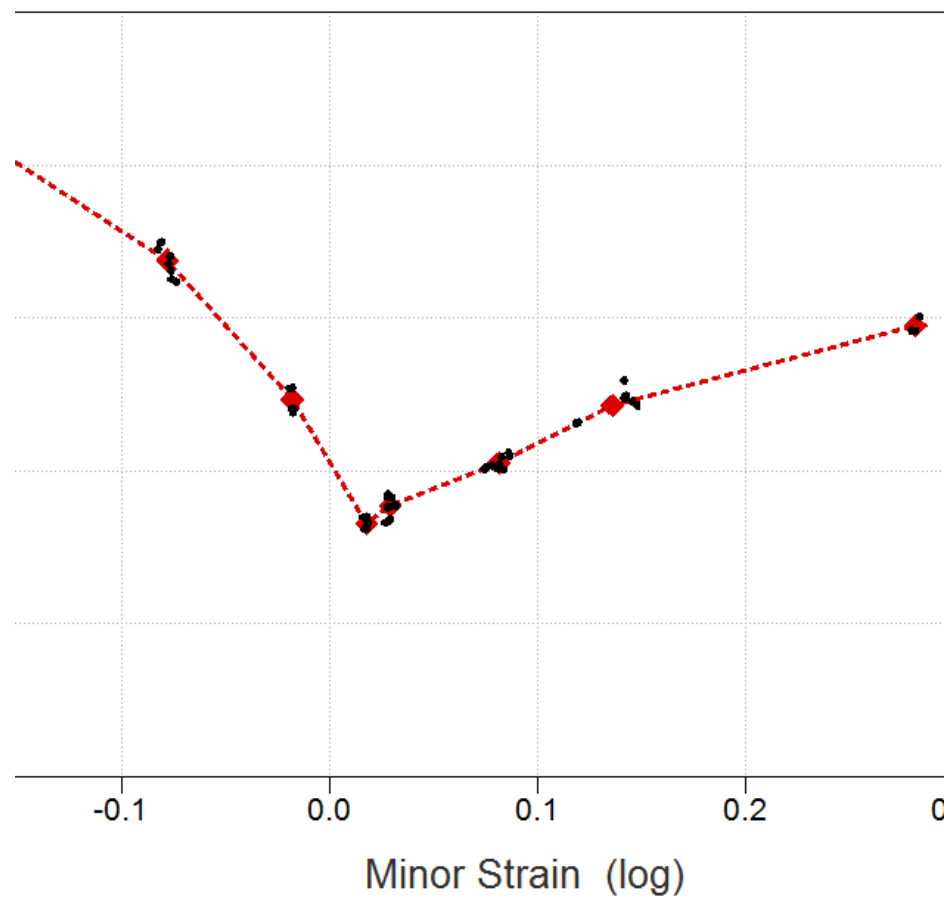
A fratura do corpo de prova de Nakajima deve estar no centro da amostra caso contrario o ensaio é invalidado pela ISO 12004



Trinca localizada fora do centro



## Princípios para o Cálculo da Curva Limite de Conformação



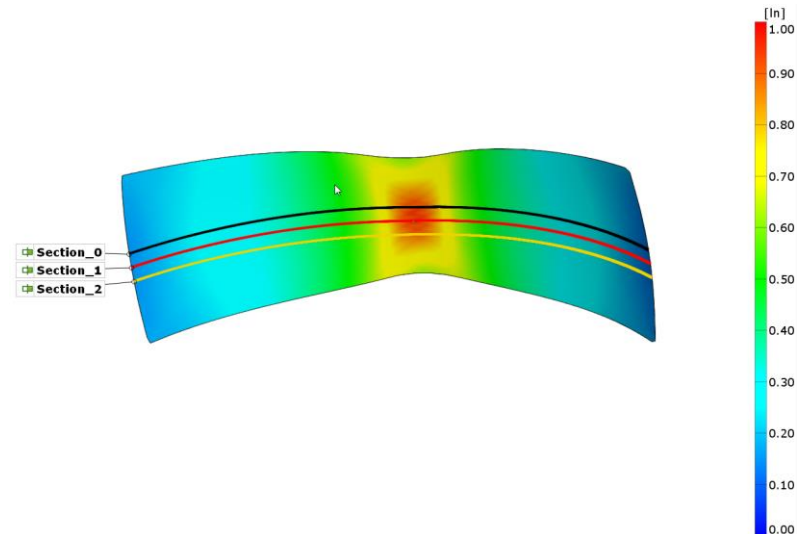
# Requisitos para as Análises das Seções



## ISO 12004 – Metodo das Seções

Taxa mínima de aquisição para o ensaio é de 10Hz

Três secções com a distância de 2mm são definidas perpendicularmente a trinca no estagio anterior a rupture do corpo de prova



# Avaliação ds Seções das Deformações Principais e Secundárias



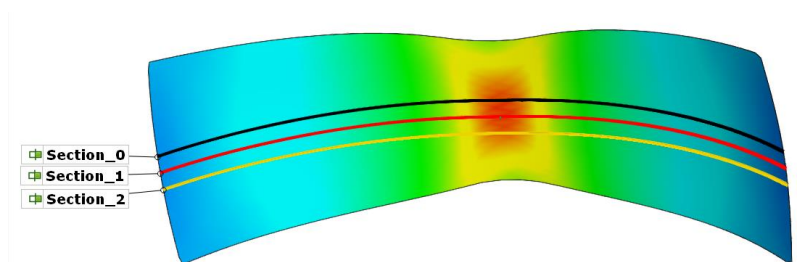
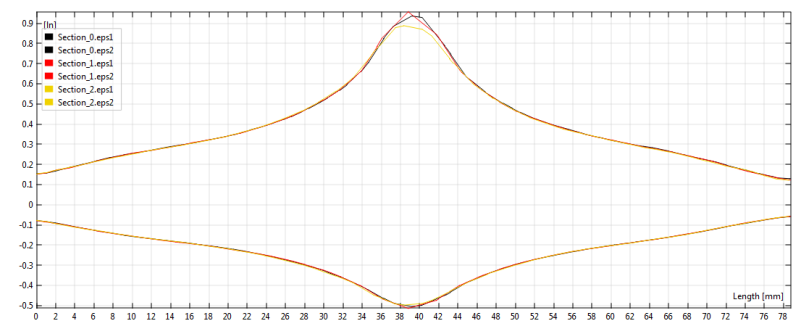
## ISO 12004 – Metodo das Seções

ISO 12004 descreve o metodo das seções para o calculo da valores limites de forma da CLC

Minima taxa para o ensaio é de 10Hz

Três secções com a distância de 2mm são definidas perpendicularmente a trinca no estagio anterior a rupture do corpo de prova

Valores de deformações Major e Minor são retiradas ao longo do comprimento das três secções definidas





# Velocidade do Ensaio e Posicionamento do Punção

## ISO 12004 – Metodo do tempo

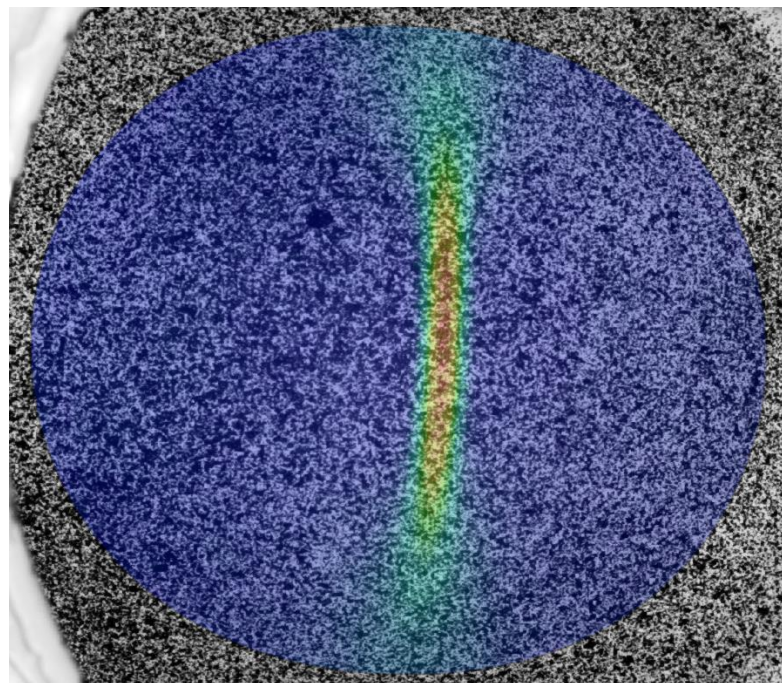
Metodo do tempo para o calculo dos valores limites de formabilidade da CLC

O metodo do tempo linear best-fit requer uma taxa minima para o ensaio de 0.1mm de deslocamento do punção, executando uma medição de deformação

- Ex: uma velocidade do punção de 1mm/s, a taxa minima para medir a deformação é de 10Hz

Pelo menos uma faixa de 4mm para o posicionamento do punção deve ser gravada

- Ex. Utilizando uma velocidade do punção de 1mm/s a 10Hz irá gerar 40 deformações antes da ruptura



Taxa de afinamento do penultimo estagio antes da ruptura (aprox. 0.2mm antes da ruptura)

# Valores Médios Major e Minor da Area de Empescoçoamento

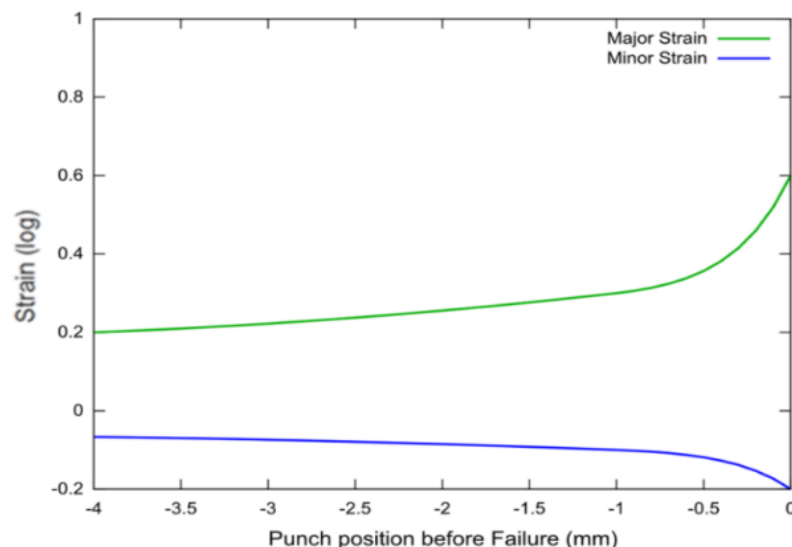


## ISO 12004 – Metodo do tempo

Utilizando o maior valor da taxa de afinamento, uma área continua de pontos é selecionada utilizando pontos com os maiores valores de taxa de afinamento

Em seguida, o calculo estatístico é executado utilizando as deformações Major e Minor destes pontos

Os valores médios das deformações Major e Minor são então utilizados para calcular os valores limites de formabilidade

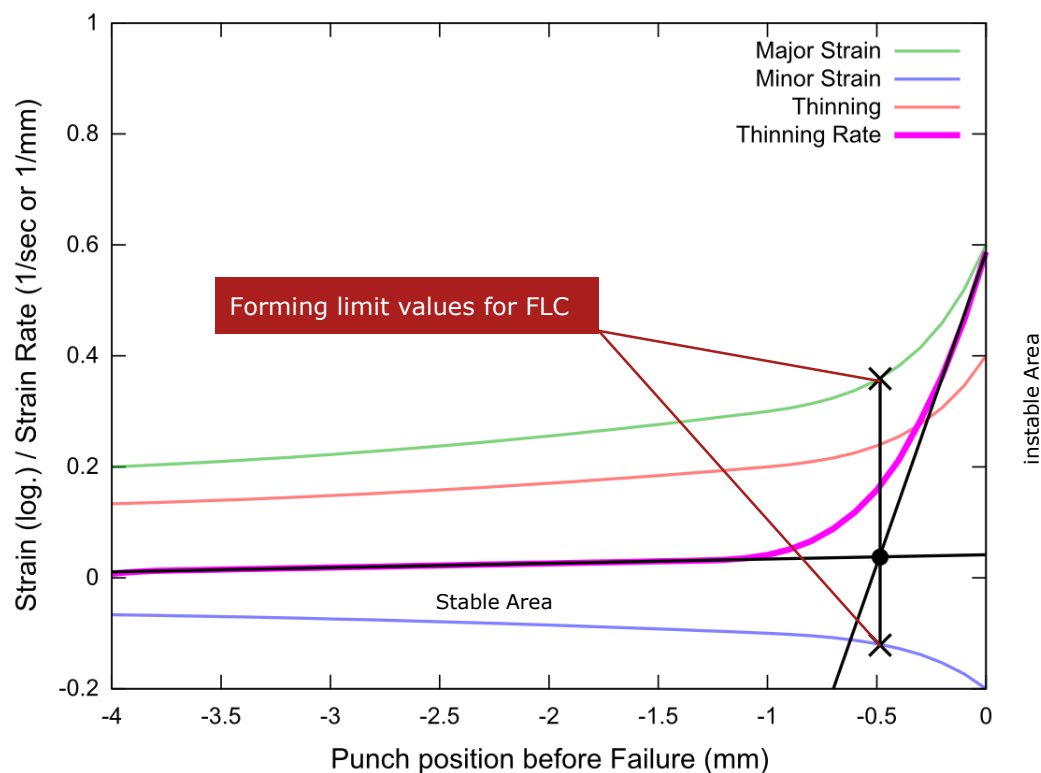


# Derivação dos Valores Limites de Formabilidade para a CLC



## ISO 12004 – Metodo do tempo

Linear best-fit



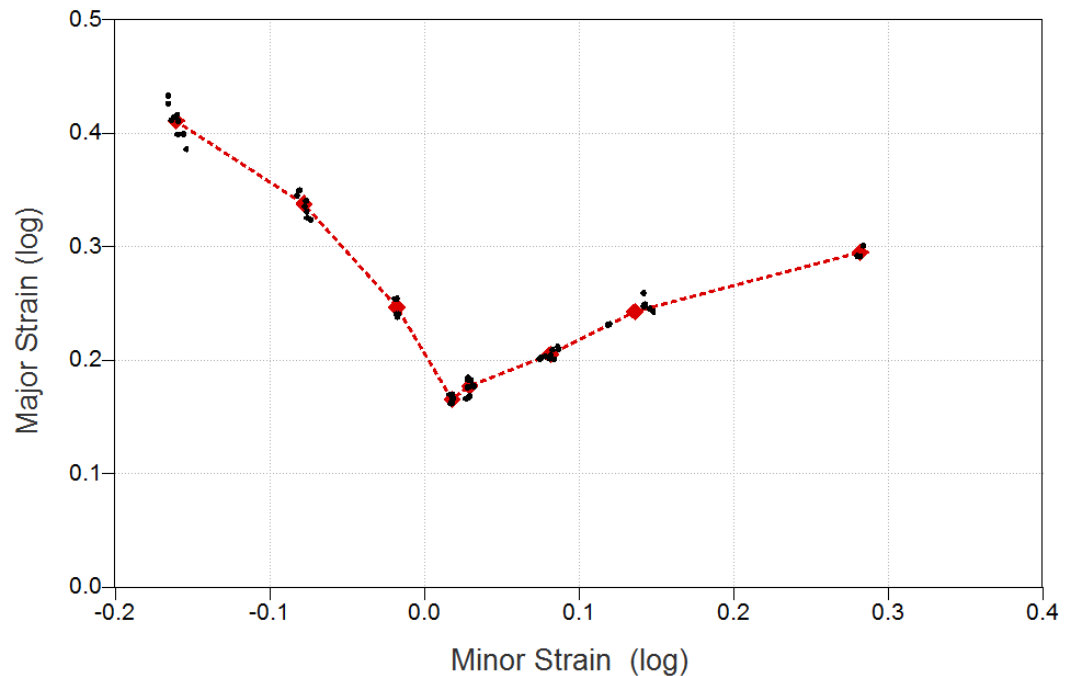
# Curva Limite de Conformação Completa



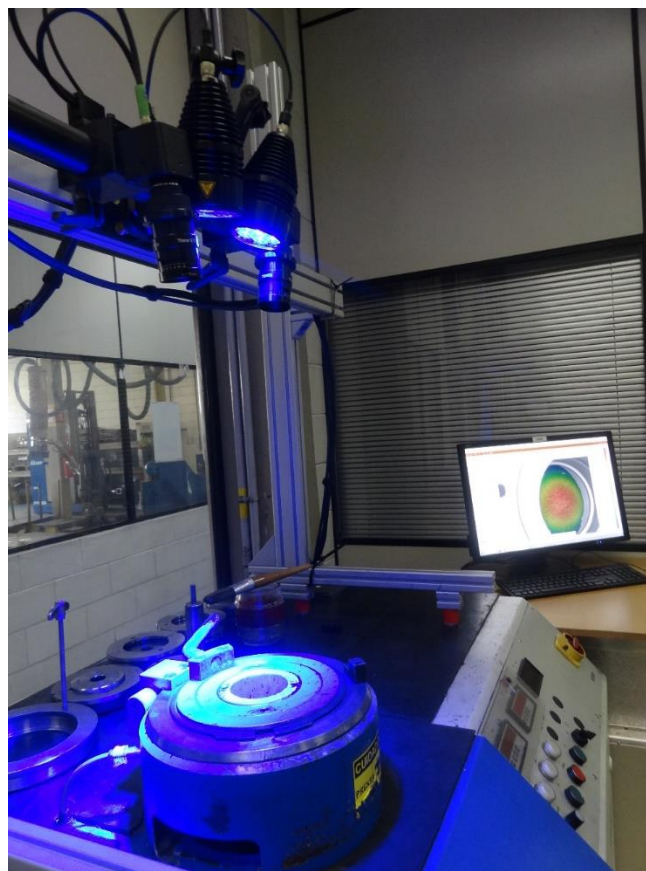
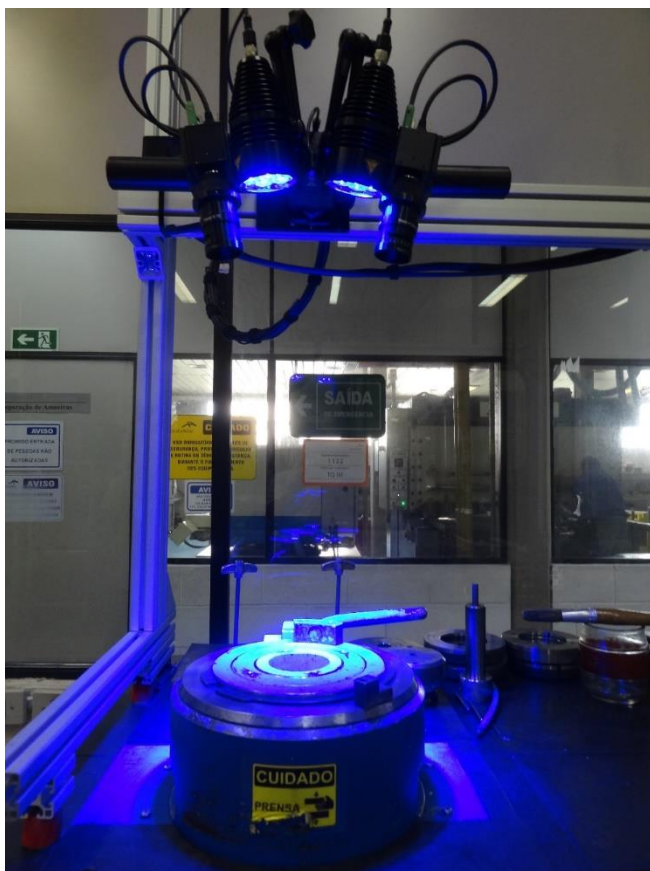
## ISO 12004 – Metodo do tempo

Linear best-fit

A CLC é definida considerando os resultados das medições de deformações de todos os corpos de prova



## ArcelorMittal - Curva Limite de Conformação



Determinação de curvas CLC e FLC: Case ArcelorMittal  
Eng Marden Souza | UserMeeting 2018

# Workflow ARAMIS - Curva Limite de Conformação

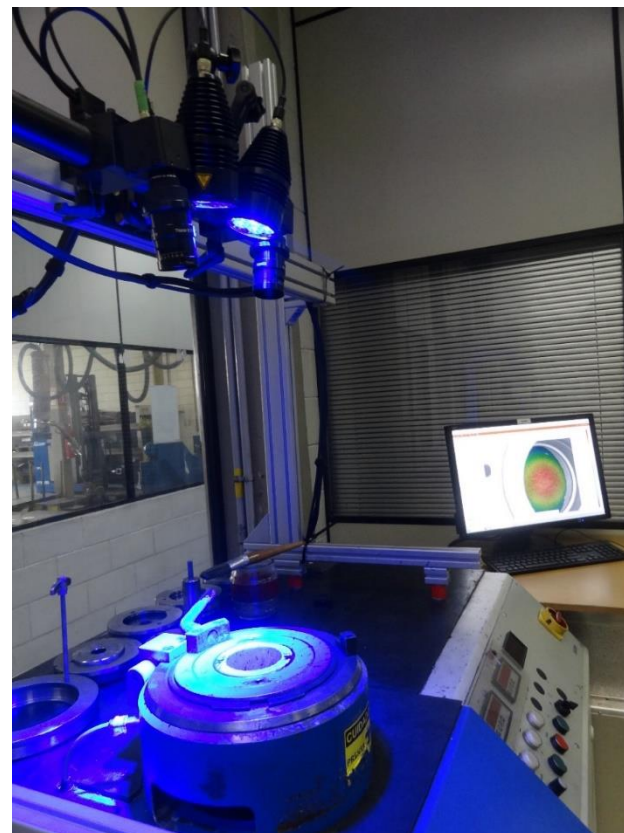




## Curva Limite de Conformação Completa

A utilização do ARAMIS para a determinação da CLC está permitindo:

- Maior precisão nos dados dos materiais.
- Mais dados em cada teste.
- Resultados mais rápidos
- Teste mais baratos.
- Melhora na qualidade do produto entregue ao cliente





Muito Obrigado pela Atenção !!!

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

[www.vtech-br.com](http://www.vtech-br.com)  
[info@vtech-br.com](mailto:info@vtech-br.com)

Siga-nos:



Vtech Consulting Ltda



@vtechconsulting