

ENSAIO CHARPY & IZOD

AMELIA ZUMBA

INTRODUÇÃO

- Os ensaios de Charpy e Izod medem a tenacidade de materiais submetidos a impactos rápidos, avaliando a energia absorvida na fratura de uma amostra. Esses testes são essenciais na mecânica para prever o comportamento de peças sob cargas dinâmicas, como em máquinas ou estruturas.
- São ensaios para avaliar a tenacidade dos materiais.
- A importância histórica deste estudo ficou evidente durante a Segunda Guerra Mundial, com os navios da classe Liberty, que partiam ao meio devido a fraturas frágeis em águas frias, apesar de serem feitos de aço dúctil
- Outro exemplo clássico é o Titanic, cujo aço possuía teores elevados de fósforo e enxofre, aumentando sua fragilidade em baixas temperaturas

Os Navios da classe Liberty (2a Guerra Mundial)

- Esforço de guerra exigiu que o tempo de fabricação dos navios fosse dramaticamente reduzido, para isso os navios foram SOLDADOS ao invés de rebitados.
- No ápice da construção o navio Robert E. Peary construído pelos estaleiros Oregon Shipbuilding Corporation de Portland / Oregon, iniciou sua construção em 08/11/1942 e foi lançado ao mar dia 15/11/1942 **(uma semana)**.
- CONTROLE DE QUALIDADE INEXISTENTE.



OU VAI OU RACHA!!!



RACHOU!

U

Os Navios da classe Liberty (2a Guerra Mundial)

- Casco do navio eram de chapas de aço doce (normalmente dúctil), no entanto, apresentou fratura frágil;
- Fraturas localizadas na solda;
- Condição climática: Inverno;
- Localização dos navios que sofreram falha: **Ancorados no cais ou em mares turbulentos;**
- Fatores: Baixa soldabilidade do aço e treinamento deficiente de soldadores (defeitos em juntas soldadas)
- Projeto deficiente (caminho preferencial para as trincas)
- Tensões residuais (contribuíram para a progressão da fratura).



Alguns dados dos Liberty

- 4694 foram construídos
- 1289 sofreram fratura frágil
- 233 fraturas catastróficas
- 19 navios partiram ao meio



A importância dos ensaios de impacto



Avaliam integridade estrutural



Garantem a segurança em projetos



Influenciam a escolha de materiais



Reduzem custos de manutenção



Facilitam inovações tecnológicas

ENSAIOS DE IMPACTO

- Os carros brasileiros têm, em geral, a suspensão mais reforçada quando comparados aos similares europeus, por quê?



O Brasil enfrenta um sério problema com a manutenção precária de suas rodovias, onde ao menos 60% das vias não estão em boas condições.

A decorative graphic consisting of multiple thin, teal-colored wavy lines that flow from the left side of the frame towards the right, creating a sense of movement and depth.

**UM POUCO DE
FÍSICA...**

- Imagina uma mesa com tampo de vidro e um tijolo em cima da mesa... o que acontece?



- Mesma mesa, mesmo tijolo.... o que aconteceu de diferente?
- A velocidade de aplicação da força, ou seja, o impacto do tijolo contra o tampo da mesa.
- Força: $F=m.g$
- A energia potencial é dada por $E_p=mgh$, portanto: **$E_p=F.h$**
- **A FORÇA DE IMPACTO DEPENDE DE QUANTO TEMPO OU DISTÂNCIA O IMPACTO LEVA PARA PARAR!**
- A energia potencial se iguala à energia cinética, então:

$$v = \sqrt{2gh}$$

- E dessa forma, temos que a força de impacto é dada por:

$$F \approx \frac{mv}{\Delta t}$$

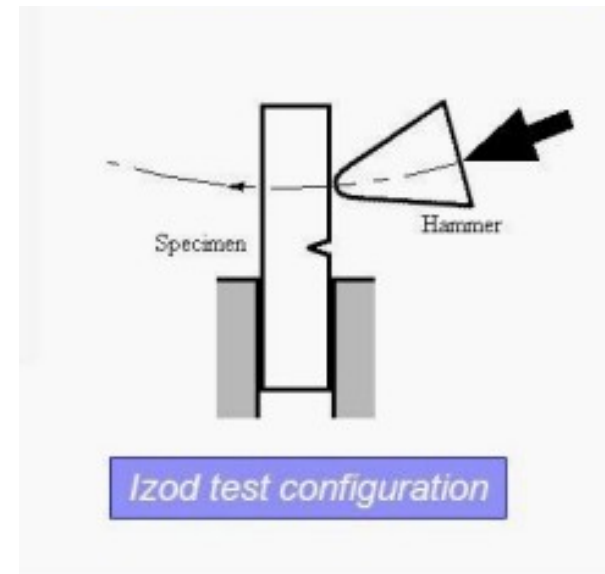
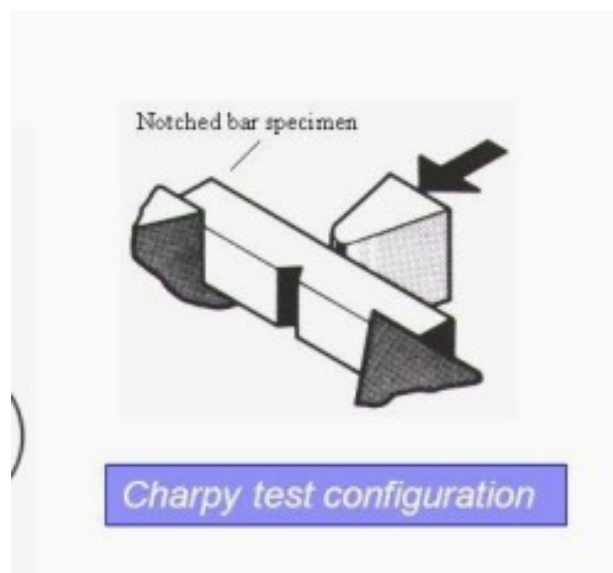
- Impacto rápido (vidro rígido) → Δt pequeno → força enorme
- Impacto amortecido (espuma, borracha) → Δt maior → força menor
- □ Por isso o vidro quebra fácil: ele não “cede”, então a força explode.

ENSAIOS DE IMPACTO

- A maioria dos ensaios que estudamos não avalia o comportamento dos materiais submetidos a esforços dinâmicos.
- No caso da fadiga, embora os esforços sejam dinâmicos, o ensaio correspondente leva mais em conta o fato de serem cíclicos.
- Porém, a maioria das máquinas e equipamentos, quando em funcionamento, está submetida a esforços dinâmicos.

PRINCÍPIOS DO ENSAIO DE IMPACTO

- Quando o martelo de impacto é solto, a partir de uma determinada altura, ele colide com a barra e, a energia absorvida pela fratura do material é medida em Joules, permitindo a avaliação da tenacidade do material testado.



O Equipamento: Martelo Pendular

- O ensaio utiliza uma máquina chamada martelo pendular
- O princípio baseia-se na conservação de energia:
 - **Energia Inicial (Ei):** O pêndulo é elevado a uma altura h , adquirindo energia potencial ($E_p = m \cdot g \cdot h$)
 - **O Impacto:** Ao ser liberado, o martelo atinge o corpo de prova no ponto mais baixo de sua trajetória.
 - **Energia Final (Ef):** Após romper o material, o martelo sobe até uma altura final h' , menor que a inicial.
 - **Cálculo:** A diferença entre a energia inicial e a final é a energia absorvida pelo material para sua ruptura, geralmente medida em Joules (J)

Corpos de Prova e Entalhes

- Os ensaios utilizam amostras padronizadas com um entalhe, que serve como concentrador de tensões para garantir que a ruptura ocorra naquele ponto.
- Charpy: O corpo de prova (geralmente 55x10x10 mm) é apoiado na máquina. O golpe do martelo é desferido na face oposta ao entalhe. Existem subtipos (A, B, C) conforme a severidade do entalhe (V ou U).
- Izod: O corpo de prova é mais longo e fica engastado (preso verticalmente) na máquina. O golpe é desferido no mesmo lado do entalhe.

Fatores que Influenciam a Fragilidade

- Mesmo metais dúcteis podem apresentar comportamento frágil se três condições estiverem presentes:
 1. Velocidade de aplicação da carga: Aplicação brusca (impacto).
 2. Presença de entalhes ou trincas: Concentram as tensões em uma região pequena.
 3. Baixa temperatura: Este é um fator crítico que pode mudar drasticamente a resistência do metal ao choque

Transição Dúctil-Frágil e Análise da Fratura

- Um dos principais objetivos do ensaio é determinar a Temperatura de Transição Dúctil-Frágil.
- Ao analisar a superfície da fratura, podemos identificar o comportamento do material:
 - Fratura Dúctil: Apresenta aparência fibrosa, escura e com grande deformação plástica ao redor da ruptura.
 - Fratura Frágil: Apresenta aspecto cristalino, brilhante e ocorre sem deformação plástica apreciável

- Materiais com estrutura cristalina CCC (Cúbica de Corpo Centrado), como os aços ferríticos, são altamente sensíveis à temperatura e apresentam uma transição bem definida, perdendo tenacidade rapidamente ao esfriar.
- Já materiais CFC (Cúbica de Face Centrada), como alumínio e cobre, mantêm alta tenacidade mesmo em temperaturas muito baixas

Aplicações e Limitações

- Controle de Qualidade: O ensaio é rápido e barato, ideal para diferenciar lotes de materiais ou tratamentos térmicos.
- Limitação: Os resultados são valores relativos e servem apenas para comparação entre materiais testados nas mesmas condições, não sendo usados diretamente em cálculos de projetos de engenharia.
- Repetibilidade: Devido à alta dispersão de resultados, recomenda-se ensaiar pelo menos três corpos de prova para cada condição.



Indústria automotiva:
segurança garantida

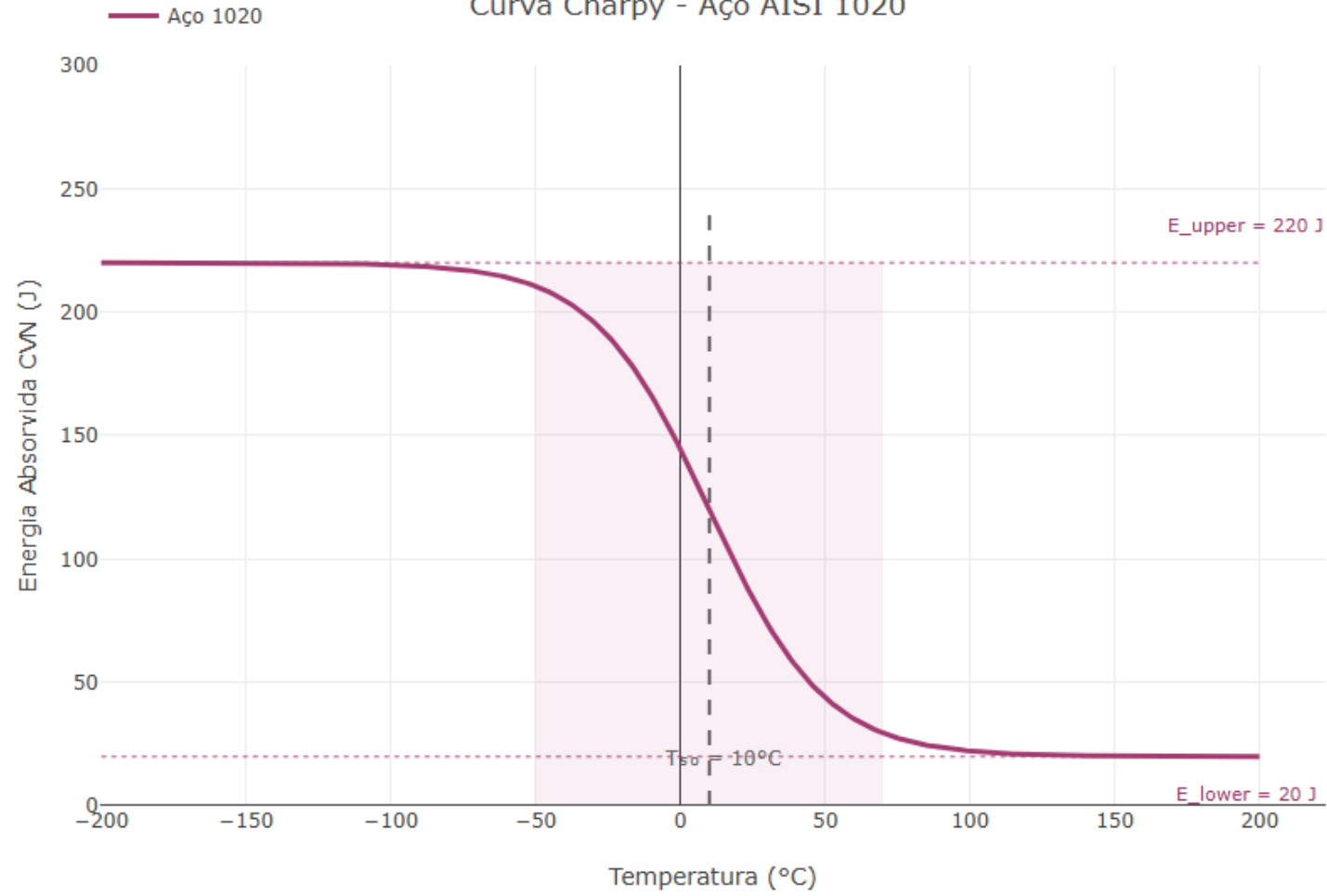


Construção civil: resistência
estrutural



Indústria de petróleo e gás:
segurança em tubulações

Curva Charpy - Aço AISI 1020



A influência da temperatura

- A temperatura exerce uma influência fundamental e dramática na resistência ao choque dos materiais, afetando a sua capacidade de absorver energia antes da ruptura.
- Enquanto ensaios estáticos (como tração) podem não mostrar variações tão bruscas, o comportamento sob impacto muda radicalmente conforme a temperatura oscila

Transição de Comportamento

- Altas Temperaturas (Região Dúctil): O material apresenta alta tenacidade, absorvendo muita energia através de deformação plástica antes de romper.
- A fratura resultante tem aparência fibrosa e escura (fosca).
- Baixas Temperaturas (Região Frágil): O material perde a capacidade de se deformar plasticamente e rompe de forma brusca e repentina.
- A energia absorvida é mínima e a superfície da fratura torna-se cristalina e brilhante, refletindo a luz devido ao fenômeno de clivagem

Influência da Estrutura Cristalina

- A sensibilidade à temperatura depende fortemente do arranjo atômico do metal:
- Metais CCC (Cúbica de Corpo Centrado): Como os aços ferríticos, apresentam uma Temperatura de Transição Dúctil-Frágil muito bem definida.
- Eles perdem tenacidade rapidamente ao serem resfriados abaixo de uma temperatura crítica.
- Metais CFC (Cúbica de Face Centrada): Como o alumínio e o cobre, mantêm alta tenacidade mesmo em temperaturas extremamente baixas, não sofrendo essa transição brusca para o estado frágil.

Temperatura de Transição

- O ensaio de impacto busca determinar a faixa de temperatura onde ocorre essa mudança de comportamento. Não existe um critério único para definí-la, mas os métodos comuns incluem:
- Determinar a temperatura onde a fratura apresenta 50% de aspecto dúctil e 50% frágil.
- Identificar a temperatura onde o material absorve um valor específico de energia (ex: 20 Joules).
- Calcular a média entre as energias máximas (patamar superior) e mínimas (patamar inferior).

Importância Prática e Histórica

- O conhecimento dessa transição é vital para a engenharia, pois operar uma estrutura abaixo da sua temperatura de transição pode causar falhas catastróficas.
- **Navios Liberty:** Durante a 2ª Guerra Mundial, muitos desses navios soldados partiram-se ao meio em águas geladas porque o aço utilizado tornou-se frágil em baixas temperaturas.
- **Titanic:** O aço do casco do Titanic possuía alto teor de fósforo e enxofre, o que elevava sua temperatura de transição. No momento da colisão, a água estava a -2°C , temperatura na qual o metal já se comportava de maneira frágil, facilitando a propagação das trincas após o impacto com o iceberg.
- Em resumo, *a queda da temperatura atua como um facilitador da fratura frágil, especialmente em aços comuns, reduzindo drasticamente a segurança de componentes sujeitos a esforços dinâmicos.*

AMYR KLINK E OS PARATII



AMYR KLINK E OS PARATII

- O Amyr ficou famoso lá atrás pela travessia do Atlântico Sul a remo (1984), mas com o tempo ele foi migrando para expedições mais complexas, principalmente em regiões polares (Antártica e Ártico).
- E aí entram os veleiros:
 - Paratii → primeira grande plataforma de expedições oceânicas
 - Paratii 2 → evolução tecnológica focada em eficiência e segurança extrema

Paratii (o “clássico robusto”)

- O Paratii foi construído nos anos 1990 e é um veleiro de alumínio, pensado pra aguentar pancada — gelo, tempestade, isolamento.
- Características principais:
- Casco de alumínio (resistente a impacto com gelo)
- Design mais tradicional
- Foco em robustez e autonomia
- Interior preparado pra longas permanências
- Capacidade de enfrentar mares pesados com segurança

- ☐ Ele foi essencial nas primeiras expedições polares do Amyr, incluindo invernos na Antártica.

Paratii 2 (o “laboratório de inovação”)

- Já o Paratii 2 é outro nível. Lançado nos anos 2000, ele foi projetado com base em tudo que o Amyr aprendeu na prática.
- Características principais:
- Casco também de alumínio, mas com design mais otimizado
- Muito mais leve e eficiente
- Projeto voltado pra alto desempenho em longas distâncias
- Sistema de navegação e energia mais avançado
- Pensado pra ser operado com tripulação mínima (ou solo)

- ☐ Esse barco permitiu expedições mais ousadas, rápidas e com menor consumo de recursos.

Em ambos os projetos, ele usou alumínio produzido no Brasil!

- Resistência à corrosão (principal fator)
- Água do mar + gelo + longas permanências = ambiente extremamente agressivo.
- Tem excelente resistência à corrosão em água salgada
- Não sofre tanto com pitting e corrosão intergranular
- ☐ Ou seja: aguenta anos no mar sem virar uma peneira

Tenacidade em baixa temperatura (crítico pra gelo)

- Aqui é onde o Paratii realmente se diferencia de um barco comum.
- Aço pode ficar frágil no frio extremo
- Alumínio dessas ligas mantém ductilidade mesmo em temperaturas negativas
- □ Ou seja: em vez de trincar no impacto com gelo, ele deforma e absorve energia
- □ É melhor um casco que “amassa” do que um que “racha”.

Soldabilidade (construção e reparo)

- São excelentes para soldagem (MIG/TIG)
- Isso é essencial num barco de expedição
- □ Se der problema no meio do nada, dá pra reparar com mais facilidade

Relação resistência x peso


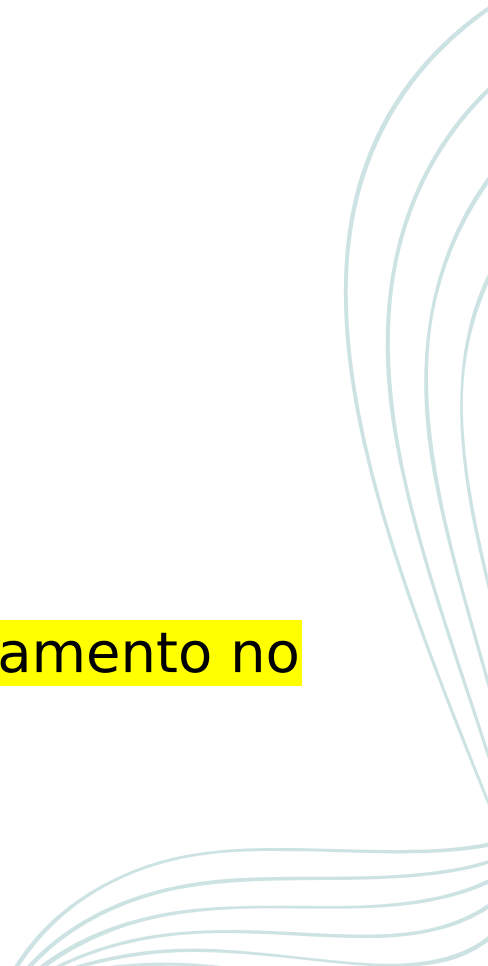
- Muito mais leve que aço
- Boa resistência mecânica
- □ Isso melhora:
 - autonomia
 - consumo energético
 - desempenho geral

Espessura do casco

- O Paratii não é só sobre liga — é sobre dimensionamento conservador.
- Em barcos polares:
- Casco pode ter espessuras bem maiores que veleiros comuns
- Quilha e regiões de impacto com gelo são reforçadas

- □ Provavelmente algo na linha de:
- 6 mm a 12 mm (ou mais em áreas críticas)

- □ Isso transforma o barco quase num “tanque de guerra marítimo leve”

- 
- O Amyr não projetou só um barco — ele projetou um sistema de sobrevivência.
 - Então a escolha do alumínio segue essa lógica:
 - ✓ Aceita deformação controlada
 - ✓ Evita falha catastrófica
 - ✓ Facilita manutenção
 - ✓ Maximiza autonomia
 - Não é sobre o melhor material absoluto, é sobre o melhor comportamento no cenário real.
- 

Alumínio x Aço

Critério	Alumínio (Paratii)	Aço
Peso	Muito menor	Alto
Corrosão	Excelente	Precisa proteção constante
Baixa temperatura	Mantém ductilidade	Pode fragilizar
Impacto com gelo	Deforma	Pode trincar
Manutenção	Mais simples	Mais pesada

Limitações

- Nem tudo são flores:
- Mais caro que aço (\$\$\$)
- Sensível a corrosão galvânica (se misturar metais sem cuidado)
- Requer projeto elétrico bem pensado (isolamento)

Ligas utilizadas

Aspecto	5086	5083
Resistência mecânica	Muito boa	Um pouco maior
Corrosão	Excelente	Excelente
Soldabilidade	Excelente	Excelente
Uso típico	Naval, militar	Naval pesado
Disponibilidade histórica	Alta	Alta

