ANDRADE SAFE / ENGENHARIA + CIÊNCIA

FUSÃO NUCLEAR NSTX-U

Ímãs, campos magnéticos e engenharia de confinamento: um dossiê técnico pronto para publicação no Sites.

114	03	05
instruções	idiomas	figuras-base

PROMPT MESTRE • 12 DE NOVEMBRO DE 2026
Pesquisa original + cálculos + laboratório interativo + controle editorial

ANDRADE SAFE | PROMPT MESTRE — NSTX-U 2026

Fusão nuclear em tokamak esférico: por dentro dos eletroímãs, das cargas e do confinamento

Dossiê: 12/11/2026
Tema: marco de instalação do conjunto magnético central do NSTX-U, anunciado pelo PPPL em 10/11/2026
Categoria pretendida: Engenharia Mecânica (categoria existente, validar)
Línguas obrigatórias: PT-BR · EN · ES
Status: pacote de publicação preparado; publicação ainda não efetuada
Padrão: reportagem de ciência e engenharia aplicada + exercícios revisados + cinco infográficos autorais/trilíngues + laboratório HTML autônomo + referências rastreáveis.

> **Tese editorial:** colocar um ímã de seis metros em posição é um grande feito de montagem, mas o confinamento do plasma e a perspectiva de uma futura planta de fusão dependem da integração eletromagnética, mecânica, térmica, de vácuo e de controle. Um marco de montagem não é geração elétrica.

Regras prioritárias não negociáveis

1. O **evento é de 27/10/2026**; a **divulgação do PPPL ocorreu em 10/11/2026**. O relatório da época prevê conclusão da montagem no início de 2027 e experimentos posteriormente naquele ano.
2. **Até 1 T, até 2 MA e até 10 MW** são valores de capacidade de projeto comunicados pelo PPPL, não novas medições após remontagem.
3. O NSTX-U é **experimental**, não uma central elétrica comercial. Não confundir aquecimento, potência de fusão e potência elétrica.
4. O site já publica texto sobre **stellarators**. Este novo artigo tem foco em **tokamak esférico, engenharia magnética, montagem, Lorentz, cargas e resfriamento**; evitar canibalização.
5. O laboratório calcula um **modelo uniforme, não relativístico e didático**; jamais usá-lo para liberar instalações, validar componentes ou estimar desempenho experimental.

Inventário de arquivos no ZIP

- `artigos/Artigo_Base_PT-BR.md`, `artigos/Article_Draft_EN.md`, `artigos/Articulo_Base_ES.md` — três textos completos e independentes.
- `figuras/*.svg` e `figuras/png/*.png` — cinco conjuntos de figuras, cada conjunto em português, inglês e espanhol.
- `laboratorio/Laboratorio_Confinamento_Magnetico_NSTXU_PT_EN_ES.html` — laboratório standalone, multilíngue e responsivo.
- `calculos/validacao.json` — parâmetros e saídas numéricas para conferência matemática.

- `editorial/SEO_E_METADATA.json`, `editorial/FONTES_E_EVIDENCIAS.md`, `editorial/CHECKLIST_PUBLICACAO.md` — metadados, rastreabilidade e revisão.

Metadados editoriais sugeridos

Idioma	H1 editorial	Slug pretendido
PT	Fusão nuclear: como os ímãs do NSTX-U tentam controlar um plasma a 100 milhões de graus?	`/blog/nstx-u-fusao-nuclear-tokamak-esferico-imas-confinamento`
EN	Nuclear fusion at NSTX-U: how do magnets control a plasma heated to 100 million degrees?	`/en/blog/nstx-u-spherical-tokamak-magnets-plasma-confinement`
ES	Fusión nuclear en el NSTX-U: ¿cómo controlan los imanes un plasma a 100 millones de grados?	`/es/blog/nstx-u-fusion-tokamak-esferico-imanes-confinamiento`

Referências prioritárias: PPPL (artigo de 10/11, página NSTX-U, fact sheet, anúncio do conjunto magnético), IAEA (Fusion Technologies; World Fusion Outlook) e DOE (NSTX-U, fusão/fissão). Links completos na documentação anexa.

INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO — 114 VERIFICAÇÕES EDITORIAIS

A. Missão editorial, escopo e arquitetura

1. Publicar um dossiê original sobre o marco de montagem do NSTX-U divulgado em 10/11/2026, enfatizando eletromagnetismo, mecânica, integração e confinamento de plasma.
2. Tratar 27/10/2026 como a data da inserção do conjunto magnético central e 10/11/2026 como a data do comunicado do PPPL; nunca inverter essas datas.
3. Não declarar que o NSTX-U já retomou operações com plasma ou gerou eletricidade após a remontagem; manter status conforme comunicado oficial.
4. Explicar claramente que NSTX-U significa National Spherical Torus Experiment–Upgrade e que é um dispositivo experimental, não uma usina nuclear comercial.
5. Usar a tese: a montagem do eletroímã é um marco físico, mas o sucesso científico requer integração de campos, refrigeração, vácuo, materiais e controle.
6. Construir a notícia como porta de entrada para ciência aplicada; não produzir release promocional ou exagerar uma conquista parcial.
7. Escrever para engenheiros, técnicos, estudantes e leitores curiosos, com precisão física e vocabulário acessível sem vulgarização indevida.
8. Preservar integralmente o site existente: repositório, backend, CMS, navegação, componentes globais, templates, blog e categorias.
9. Concentrar este trabalho em um artigo completo por idioma e seus recursos; não iniciar novas pautas nem uma auditoria geral.
10. Aplicar edição editorial humana aos três artigos fornecidos, preservando informação, equações, ressalvas e fontes verificáveis.

B. Verificação dos fatos e pesquisa

1. Priorizar a notícia oficial PPPL de 10/11/2026 como fonte de data, sequência de montagem e cronograma.
2. Confirmar se houve atualização oficial posterior à apuração em 12/11/2026 antes de publicar; atualizar os três idiomas simultaneamente se houver mudança.
3. Vincular afirmações de especificação de projeto à ficha técnica PPPL 2026, e não a ensaios realizados depois de outubro.
4. Informar as capacidades como "até 1 T", "até 2 MA" e "até 10 MW de aquecimento"; distinguir projeto, medição e operação.
5. Explicitar que as previsões de montagem no início de 2027 e retomada experimental posteriormente em 2027 são previsões do PPPL, não fatos consumados.
6. Indicar que a instalação do conjunto central foi seguida por alinhamento com laser, selos de vácuo, conexões de água, barramentos e revestimentos.
7. Relacionar fabricação, transporte e inserção com a documentação oficial de junho e novembro de 2026, sem criar etapas não documentadas.
8. Usar IAEA e DOE como referências primárias para definições de fusão, fissão, tokamak, confinamento e dificuldades de plasma.
9. Evitar presumir que NSTX-U opera como ITER: não importar potência, campo, criogenia, tipos de combustível ou escala de ITER para este dispositivo.
10. Preservar a distinção entre o programa NSTX iniciado anteriormente, operações de 2016, período de recuperação e o marco de 2026.
11. Não inventar entrevistas, resultados experimentais, laudos, eficiência energética, fator Q ou potência líquida entregue ao sistema elétrico.
12. Indicar data da apuração, data efetiva de publicação, fontes e limites dos dados disponíveis.

C. Física de plasmas e exatidão conceitual

1. Explicar fusão versus fissão sem sugerir reação em cadeia de fissão no NSTX-U.
2. Definir plasma como matéria ionizada com elétrons e íons, incluindo efeitos coletivos, turbulência e instabilidades.
3. Contextualizar temperatura, densidade e tempo de confinamento; temperatura alta isolada não garante ganho energético.
4. Definir A=R/a e a geometria esférica como baixa razão de aspecto; não afirmar superioridade comercial já demonstrada.
5. Definir beta como relação entre pressão do plasma e pressão magnética, com ressalva de modelos e parâmetros locais.
6. Diferenciar campo toroidal, campo poloidal, bobinas TF, sistema OH e bobinas de controle de posição/forma.
7. Explicar linhas helicoidais como resultado da combinação de componentes de campo, evitando representá-las como tubos rígidos.
8. Explicar a indução ôhmica por variação do fluxo e corrente no plasma, sem descrever OH como um aquecedor elétrico comum de contato.
9. Mencionar aquecimento por feixes neutros e radiofrequência como recursos adicionais, sem afirmar potência específica não verificada.

10. Não usar a expressão "plasma suspenso sem tocar nada" como afirmação literal de ausência de interação com superfícies.
11. Distinguir potência de aquecimento, potência de fusão e potência elétrica líquida; não compará-las como se fossem a mesma grandeza.
12. Incluir rigor sobre sistemas de borda, divertor, fluxo de calor e integridade de parede.

D. Cálculos e auditoria dimensional

1. Apresentar F=q(E+v×B), definindo símbolos, unidades e caráter vetorial.
2. Para campo B uniforme e E=0, mostrar que o movimento circular decorre da velocidade perpendicular; v paralela cria avanço helicoidal.
3. Apresentar rL=sqrt(2*m*E_perp)/(|q|*B) e fci*=|*q*|B/(2*pi*m) para regime não relativístico.
4. Usar carga elementar e=1,602176634×10^-19 C e conversão 1 eV=1,602176634×10^-19 J.
5. Para deutério, usar massa mD=3,3435837724×10^-27 kg como valor de referência adotado no kit.
6. No caso D+, 10 keV perpendicular e 1 T, exibir rL≈2,043 cm e fci≈7,626 MHz; conferir com `calculos/validacao.json`.
7. Para próton H+, 10 keV e 1 T, exibir raio≈1,445 cm e frequência≈15,245 MHz.
8. Explicar que, com energia e espécie fixas, rL é inversamente proporcional a B e fci proporcional a B.
9. Usar pB=B²/(2μ0) como escala de densidade de energia magnética no vácuo, com μ0≈4π×10^-7 H/m.
10. Apresentar pB≈0,398 MPa para 1 T e ≈1,592 MPa para 2 T; ressaltar a relação quadrática.
11. Proibir interpretar pB como tensão em componente ou capacidade de resistência de parafusos sem análise estrutural.
12. Se incluir o exemplo hidráulico, usar Qdot=2 MW, cp=4180 J/(kg·K), deltaT=10 K e m_dot≈47,85 kg/s, todos fictícios.
13. Não usar os cálculos simplificados para derivar raio total de máquina, confinamento, ignição, potência elétrica, tensões ou vazão real do NSTX-U.
14. Validar unidades, arredondamentos, resultados, legendas e tradução dos símbolos em todos os idiomas.

E. Conteúdo industrial e interfaces de engenharia

1. Explicar o impacto da precisão de montagem e dos alinhamentos no desempenho de sistemas eletromagnéticos.
2. Apresentar verificações de interfaces estruturais, condutores e passagens de água como tópicos de engenharia, não laudo de instalação.
3. Relacionar cargas magnéticas, esforço térmico, isolamento, fadiga, vibração e tensões residuais com análise de projeto quando aplicável.
4. Distinguir temperatura do plasma de temperatura dos componentes sólidos e importância de fluxo térmico.
5. Explicar mecanismos de retirada de calor por circuitos de água sem inventar a vazão real de operação.
6. Destacar vácuo, estanqueidade, revestimentos, diagnóstico e proteção instrumental como requisitos complementares.
7. Evitar imputar defeitos ao PPPL; perguntas técnicas são exemplos de critérios de evidência, não relatos de falhas observadas.

8. Conectar comissionamento à integração de subsistemas e ensaios, sem criar procedimento oficial paralelo.
9. Mencionar recuperação após falha de bobina documentada, deixando claro que o equipamento realizou experimentos em 2016.
10. Fechar o artigo com os desafios para geração comercial e sem fixar prazos de entrada da fusão na matriz elétrica.

F. Artigos PT-BR, EN e ES

1. Utilizar `artigos/Artigo_Base_PT-BR.md` para publicar uma página completa em português brasileiro.
2. Utilizar `artigos/Article_Draft_EN.md` para publicar uma página completa em inglês natural e tecnicamente consistente.
3. Utilizar `artigos/Articulo_Base_ES.md` para publicar uma página completa em espanhol natural e tecnicamente consistente.
4. Não reduzir EN e ES a resumo, remendo ou tradução automática literal da versão portuguesa.
5. Revisar terminologia: toroidal field/campo toroidal; ohmic heating/calentamiento óhmico; Larmor radius/radio de Larmor.
6. Usar gráficos, legendas e descrições ALT correspondentes ao idioma da página.
7. Preservar autoria institucional Andrade Safe e identidade do autor já configurada no site; não inventar cargo, afiliação ou entrevista.
8. Utilizar a categoria existente de Engenharia Mecânica ou outra existente comprovadamente mais adequada; não criar categoria por conta própria.
9. Preservar no corpo seção de transparência, referências, FAQ e limitações matemáticas.
10. Não transformar o artigo em venda agressiva; CTA, se houver, deve ser técnico e discreto.

G. Recursos visuais e licenciamento

1. Importar os cinco SVG autorais da pasta `figuras/` e versões PNG `figuras/png/` com sufixos PT, EN e ES.
2. Usar a arte 01 como esquema de engenharia, não como fotografia documental do içamento de outubro.
3. Posicionar a figura 02 na explicação de campos toroidal e poloidal, com ressalva sobre geometria real.
4. Posicionar a figura 03 após o exemplo de raio de Larmor, mantendo 10 keV e legenda explícita de hipótese.
5. Posicionar a figura 04 na seção de escala pB, nunca rotulá-la como carga real em uma bobina.
6. Posicionar a figura 05 na discussão de montagem e comissionamento, distinguindo tarefas concluídas de futuras.
7. Se usar fotografia real, priorizar a imagem oficial do PPPL do artigo de 10/11/2026 e conferir licença/atribuição, autor e data.
8. Aplicar crédito Michael Livingston / PPPL Communications Department à foto documental escolhida quando correspondente.
9. Não usar foto de arquivo como evidência do estágio atual sem indicar claramente data e contexto.
10. Não usar fotografias de agências ou terceiros sem autorização/licença; a existência de URL não concede direito de republicação.
11. Criar ALT informativos e legendas específicas por idioma, evitando ALT genérico "imagem".

12. Conservar SVG acessível, responsivo e preservar leitura das legendas em desktop e celular.

H. Laboratório interativo

1. Integrar `laboratorio/Laboratorio_Confinamento_Magnetico_NSTXU_PT_EN_ES.html` por estratégia compatível com a infraestrutura existente do Sites.
2. Preservar funcionamento offline/autônomo do laboratório, sem rede, APIs ou bibliotecas externas.
3. Oferecer controles de espécie H+/D+, energia perpendicular de 1 a 30 keV e B de 0,2 a 3,5 T.
4. Exibir raio de Larmor em centímetros, frequência em MHz, velocidade em 10^6 m/s e pressão magnética em MPa.
5. Gerar curva de rL contra B, um diagrama circular simplificado e comparação quantitativa por cenário.
6. Preservar módulo hidráulico com Qdot e variação de temperatura, identificado como exemplo independente e fictício.
7. Permitir alteração de idioma PT/EN/ES e tradução integral de rótulos e descrições.
8. Permitir restauração do exemplo e exportação de CSV somente mediante ação do usuário.
9. Validar resultados de referência e todos os controles em desktop e largura pequena; evitar scroll horizontal no mobile.
10. Não sugerir simulação de instabilidades de plasma, equilíbrio de Grad–Shafranov, propriedades de bobinas ou dimensionamento mecânico.
11. Oferecer fallback textual quando não houver execução JavaScript no site.
12. Se a incorporação HTML for bloqueada, apresentar os resultados estáticos e link/rota alternativa segura, sem quebrar a página.

I. SEO, GEO, links internos e rastreabilidade

1. Usar títulos e descrições próprios para cada idioma com a palavra-chave NSTX-U e intenção de busca sobre tokamak esférico.
2. Adotar slugs evergreen curtos que não reproduzam o artigo sobre stellarators nem o de reativação de usinas de fissão.
3. Criar canonical autocentrado em cada versão e hreflang recíproco `pt-BR`, `en`, `es` (e x-default se aderente ao site).
4. Publicar `Article` / `BlogPosting` estruturado com headline, description, author, publisher, image, datePublished e dateModified verdadeiros.
5. Incluir FAQ editorial para leitores, sem prometer rich results de FAQ no Google.
6. Confirmar URLs internas existentes antes de inserir; priorizar a matéria sobre stellarators e a reativação nuclear para IA.
7. Inserir terceiro link semântico para resfriamento de data centers apenas como comparação de princípios térmicos, não equivalência operacional.
8. Preservar URL de cada fonte oficial no artigo e permitir navegação a documentos citados.
9. Usar og:title, og:description, imagem social adequada e card Twitter/X coerente por idioma.
10. Usar a data real de publicação; `dateModified` somente com alteração substantiva e sem falsear histórico.
11. Garantir páginas indexáveis apenas quando publicadas, com sitemap e sem páginas duplicadas no mesmo idioma.

12. Não declarar indexação, nota SEO, posição no Google ou publicação antes de verificar resultados verdadeiros.

J. Publicar, validar e encerrar

1. Fazer conferência de fatos e datas imediatamente antes do deploy, documentando mudanças relevantes em relação à apuração de 12/11.
2. Validar matemática do laboratório versus `calculos/validacao.json`, incluindo padrão D+, 10 keV, 1 T.
3. Validar as páginas em largura desktop e mobile; não permitir clipping de gráficos, títulos ou cartões.
4. Conferir que cada idioma tem H1 único, corpo completo, figuras e referências correspondentes.
5. Conferir que figura documental não é descrita como imagem sintética nem vice-versa.
6. Conferir status HTTP, renderização, links externos principais, imagens, canonical, hreflang e schema.
7. Confirmar que `datePublished` é a data efetiva e que o artigo consta do fluxo de sitemap conforme arquitetura existente.
8. Não executar auditoria geral do site, refatorações globais ou repetidas tentativas sem relação com este artigo.
9. Entregar relatório objetivo: URLs publicadas por idioma, ações realizadas, verificações concluídas e pendências honestamente identificadas.
10. Encerrar após esta publicação; não iniciar automaticamente novo artigo.

Critérios de aceitação para encerramento

A publicação só é considerada concluída quando as três páginas integrais estiverem acessíveis, com H1/hero/corpo/fontes corretos, laboratório funcionando ou fallback explícito, links internos reais, `canonical` próprio por idioma, `hreflang` recíproco, schema sem dados fabricados e todas as peças editoriais preservadas. Em caso de bloqueio, comunicar o impedimento sem declarar publicação. O Prompt Mestre é de execução em uma rodada: **pesquisar atualização necessária → adaptar os textos → integrar recursos → publicar → conferir → relatar**.

Fim do Prompt Mestre.