

Operação e Manutenção de Turbinas a Gás

1. Definição Completa e Fundamentação Tecnológica



A turbina a gás consolida-se, na engenharia contemporânea, como uma máquina térmica de fluxo contínuo e combustão interna, projetada para converter a energia química contida em um combustível — seja ele gasoso (gás natural, biogás,

hidrogênio) ou líquido (óleo diesel, querosene de aviação) — em energia mecânica rotativa útil ou empuxo cinético.

Diferentemente dos motores alternativos de combustão interna, que operam sob ciclos termodinâmicos intermitentes e volumétricos, a turbina a gás opera em regime estacionário de fluxo de massa, permitindo densidades de potência significativamente superiores e uma relação peso-potência inigualável em aplicações industriais e aeronáuticas.¹

No contexto rigoroso da engenharia de utilidades e geração de energia no Brasil, a definição técnica expande-se para compreender o equipamento como um sistema integrado de **turbomáquinas acopladas**.

O conjunto rotativo principal é constituído, invariavelmente, por um compressor (responsável pela elevação da pressão do fluido de trabalho), uma câmara de combustão (onde ocorre a liberação exotérmica de energia a pressão quase constante) e uma turbina de expansão (onde a entalpia do gás quente é convertida em torque no eixo).¹

A aplicação final dita a nomenclatura e a configuração física: quando a energia cinética residual dos gases de escape é utilizada para propulsão, denomina-se motor a reação ou turbojato; quando a energia é quase totalmente extraída pelo eixo para acionar um gerador elétrico síncrono ou um compressor de processo, classifica-se como turbina a gás estacionária ou industrial.¹

1.1 CLASSIFICAÇÃO E TIPOLOGIA NO MERCADO BRASILEIRO

O mercado brasileiro, caracterizado por uma matriz energética híbrida e pela exploração intensiva de hidrocarbonetos em águas ultraprofundas, demanda duas tipologias predominantes de turbinas a gás, cada uma com filosofias de projeto distintas:

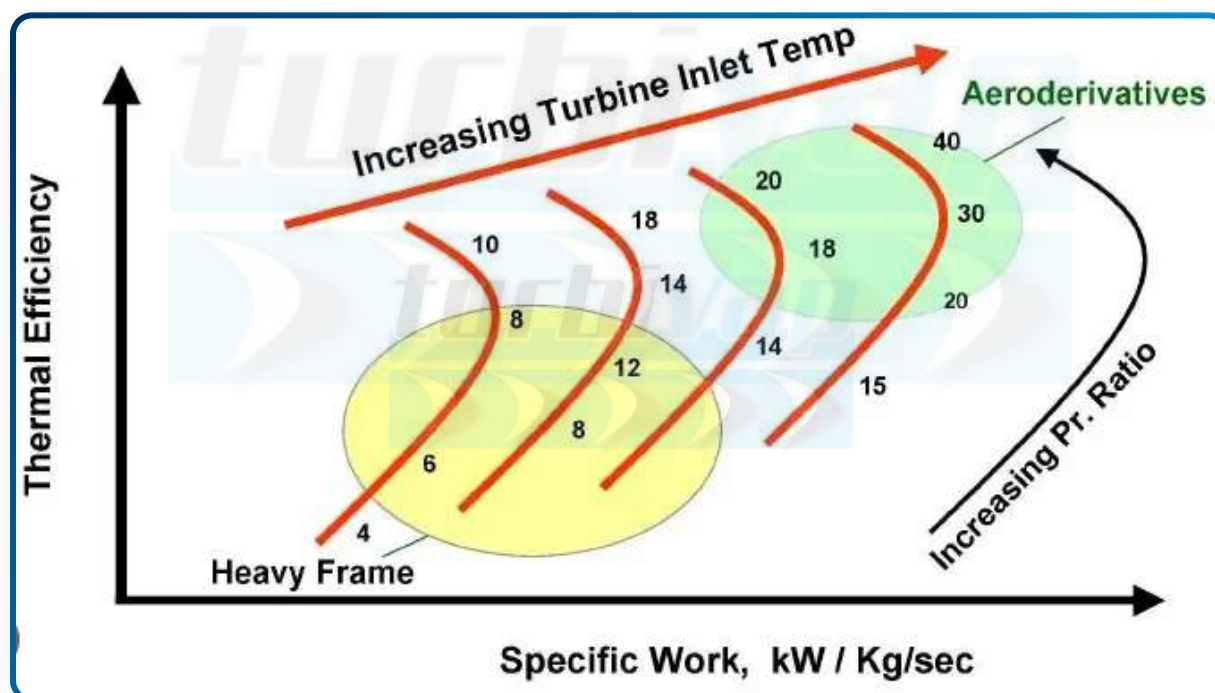
1. Turbinas Industriais "Heavy Duty" (Serviço Pesado):

Projetadas especificamente para aplicações estacionárias terrestres, estas máquinas priorizam a robustez estrutural, a longevidade dos componentes e a eficiência em ciclo combinado.

Caracterizam-se por carcaças espessas fundidas, mancais hidrodinâmicos de filme de óleo e câmaras de combustão de grande volume (tipicamente can-annular ou silos externos).

No Brasil, são a espinha dorsal das grandes usinas termelétricas (UTES) que garantem a segurança energética do Sistema Interligado Nacional (SIN), operando frequentemente na base ou em despacho prolongado.

Exemplos paradigmáticos incluem as máquinas das classes F, H e J, capazes de superar 60% de eficiência térmica quando acopladas a ciclos a vapor.⁴



2. Turbinas Aeroderivativas:

Originadas diretamente de motores aeronáuticos turbofan ou turbojato, estas unidades são adaptadas para o uso estacionário através da substituição do fan frontal e da adição de uma turbina de potência livre.

Destacam-se pelo peso reduzido, dimensões compactas e, crucialmente, pela capacidade de ciclagem térmica rápida, permitindo partidas e paradas frequentes sem penalização severa da vida útil por fadiga.

No Brasil, dominam o setor de Óleo e Gás (O&G), especialmente em plataformas FPSO (Floating Production, Storage and Offloading) na Bacia de Santos e Campos, onde o espaço é escasso e a disponibilidade mecânica é crítica.

A modularidade permite a troca rápida do gerador de gás em alto mar, minimizando o tempo de inatividade.⁴

CARACTERÍSTICA TÉCNICA	HEAVY DUTY (INDUSTRIAL)	AERODERIVATIVA
Origem do Design	Projetada para solo (robustez)	Adaptada da aviação (leveza)
Mancais	Hidrodinâmicos (casquilhos)	Rolamento (esferas/rolos)
Relação de Compressão	Moderada (15:1 a 25:1)	Alta (30:1 a 40:1)
Velocidade de Rotação	Síncrona (3600 RPM - 60Hz)	Alta (via caixa redutora)
Manutenção Típica	No local (abertura de carcaça)	Troca do gerador de gás (modular)
Aplicação Principal BR	UTES de Base (Sergipe, GNA)	Offshore, Cogeração, Peaking



2. Termodinâmica Avançada: Regime e Ciclo de Operação

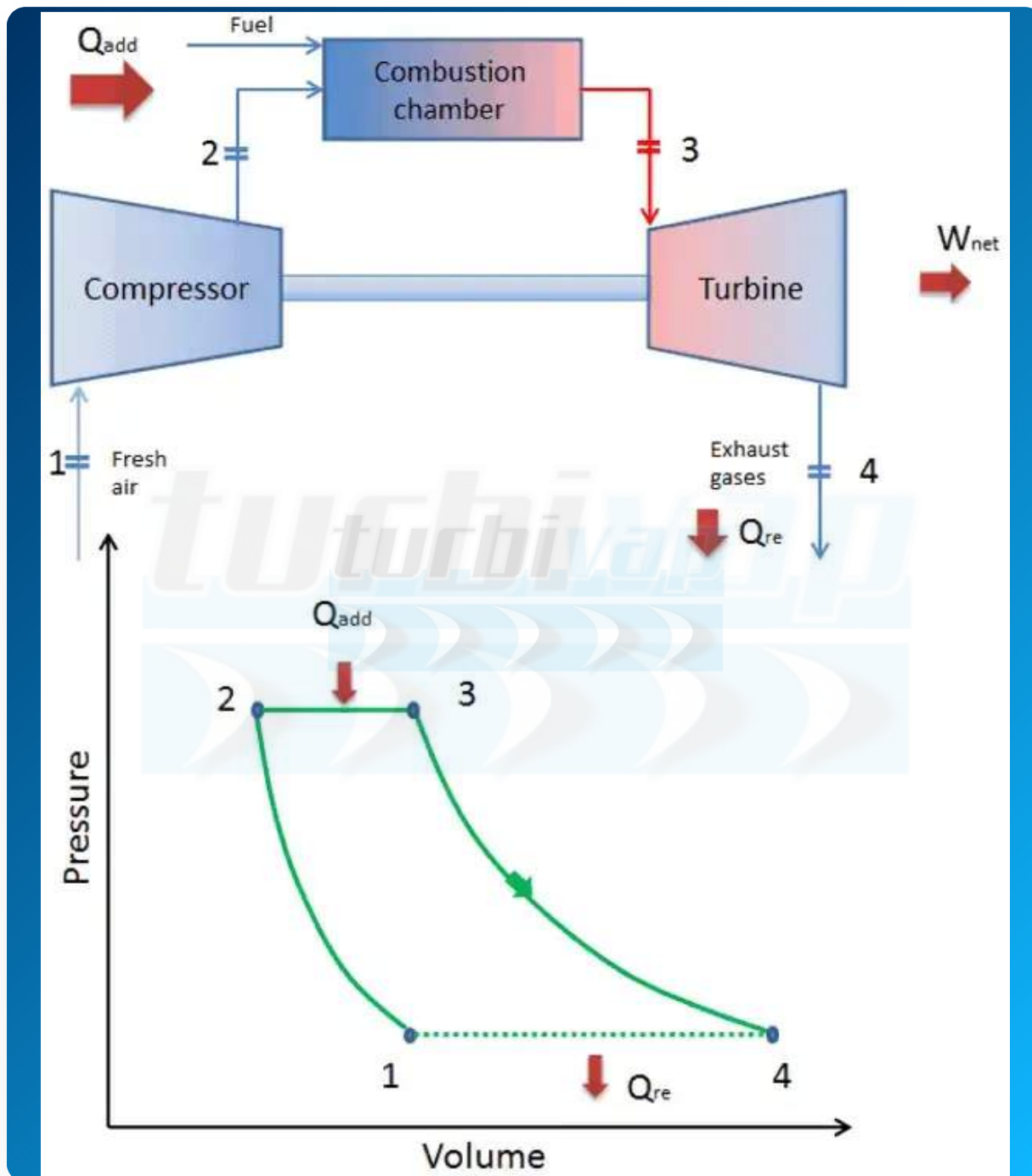
A compreensão profunda do funcionamento de uma turbina a gás exige a análise do **Ciclo Brayton** (ou Joule), o modelo termodinâmico ideal que rege as transformações de estado do fluido de trabalho.

No Brasil, as condições ambientais tropicais impõem desafios termodinâmicos específicos que desviam o ciclo real do ideal.¹

2.1 ANÁLISE DO CICLO BRAYTON (ABERTO E FECHADO)

O ciclo termodinâmico é composto por quatro processos fundamentais que ocorrem em fluxo contínuo. A maioria das aplicações industriais brasileiras opera em **ciclo aberto**, onde o ar atmosférico é admitido e os produtos da combustão são exauridos para o ambiente.





O ciclo fechado, embora teoricamente mais eficiente para certas aplicações (como reatores nucleares a gás), é raro no contexto industrial nacional.³

1. Compressão Adiabática (Isentrópica no Ideal) [1-2]:

O ar ambiente é aspirado e comprimido. No modelo ideal, não há troca de calor e a entropia é constante.

Na realidade, a eficiência politrópica do compressor (entre 85-92%) resulta em um aumento de entropia, aquecendo o ar mais do que a compressão ideal preveria.

Uma turbina operando no Rio de Janeiro a 35°C admitirá ar menos denso do que uma operando no sul do país a 15°C, alterando fundamentalmente o fluxo de massa e o trabalho de compressão exigido.²

2. Adição de Calor Isobárica [2-3]:

Na câmara de combustão, o combustível é injetado. O processo é modelado como adição de calor a pressão constante.

Contudo, perdas de carga (queda de pressão) são inevitáveis e necessárias para promover a turbulência que estabiliza a chama.

A temperatura atinge seu pico no ciclo (TIT - Turbine Inlet Temperature), sendo o parâmetro limitante para a metalurgia das palhetas.¹

3. Expansão Adiabática (Isentrópica no Ideal) [3-4]:

Os gases expandem-se através das palhetas da turbina, realizando trabalho. Cerca de 50% a 60% da potência gerada é consumida imediatamente para manter o compressor em rotação (trabalho de retrocesso). O saldo é o trabalho útil entregue ao eixo.¹

4. Rejeição de Calor Isobárica [4-1]:

No ciclo aberto, esta etapa ocorre na atmosfera. A entalpia residual dos gases de escape (que saem entre 450°C e 650°C) representa a maior perda de eficiência do ciclo simples.

2.2 O CICLO COMBINADO (COMBINED CYCLE) NO BRASIL

Para mitigar a perda térmica da exaustão, as grandes usinas brasileiras (como a UTE Porto de Sergipe e a UTE GNA) operam em regime de **Ciclo Combinado**. Neste arranjo, a turbina a gás (Ciclo Brayton) atua como a fonte de calor para um ciclo inferior a vapor (Ciclo Rankine).

Os gases de escape são direcionados a uma **Caldeira de Recuperação de Calor (HRSG - Heat Recovery Steam Generator)**, que produz vapor em múltiplos níveis de

pressão para acionar uma turbina a vapor.

Este acoplamento termodinâmico eleva a eficiência global da planta de valores típicos de 38-42% (ciclo simples) para patamares superiores a 62%, transformando a termoelectricidade a gás na forma mais eficiente de conversão térmica de combustíveis fósseis disponível atualmente.⁶



2.3 IMPACTO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS (TROPICALIZAÇÃO)

O Brasil apresenta desafios únicos devido às suas altas temperaturas médias e umidade relativa. A performance da turbina a gás é intrinsecamente ligada à densidade do ar de admissão.

- **Correção de Temperatura:** Existe uma regra prática na engenharia de operações: para cada 1°C de aumento na temperatura ambiente acima das condições ISO (15°C), a turbina perde aproximadamente 0,6% a 0,9% de sua potência nominal de saída.

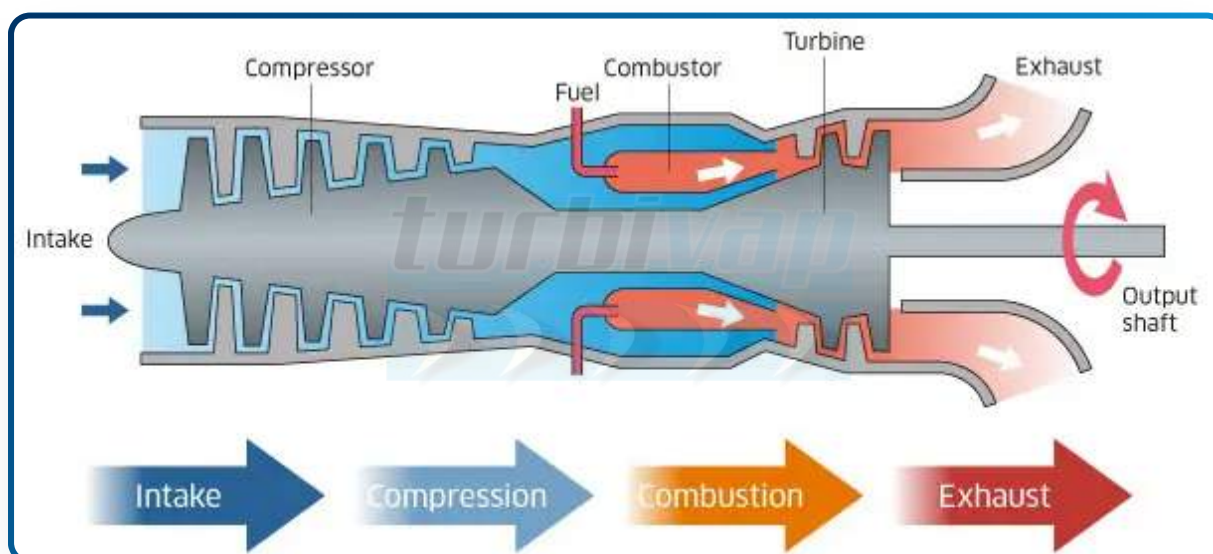
Isso ocorre porque o ar quente é menos denso, reduzindo o fluxo mássico de ar (m_{ar}) que a máquina consegue aspirar, enquanto o compressor consome proporcionalmente mais trabalho específico.¹⁰

- **Mitigação:** Para combater esse "derating" térmico, muitas instalações no Brasil utilizam sistemas de resfriamento do ar de admissão (*Inlet Cooling*), como *Fogging* (nebulização de água) ou *Chillers* (resfriadores mecânicos), para restaurar a densidade do ar e recuperar a potência durante os horários de pico diurno.¹⁵

“ A operação de turbinas a gás exige a integração entre excelência termodinâmica, integridade metalúrgica e conformidade normativa para garantir a segurança e a eficiência da matriz energética brasileira.

3. Princípio de Funcionamento e Anatomia Detalhada dos Componentes

A operação confiável de uma turbina a gás depende da integração precisa de subsistemas complexos. A falha ou degradação de qualquer um destes componentes compromete todo o ciclo termodinâmico.



3.1 SISTEMA DE ADMISSÃO E FILTRAGEM DE AR (AIR INTAKE SYSTEM)

Frequentemente subestimada, a casa de filtros é a primeira linha de defesa da máquina. No Brasil, especialmente em instalações **offshore** e costeiras, o ar contém altos níveis de cloreto de sódio (sal marinho) e umidade.

- **Tecnologia de Filtragem:** Sistemas modernos utilizam estágios múltiplos: defletores inerciais (para gotas grandes), filtros prévios coalescentes (para aglutinar umidade) e filtros finais de alta eficiência (EPA ou HEPA, classes E10-E12).

A filtragem HEPA hidrofóbica é crucial para impedir que a salmoura líquida penetre no compressor, onde a água evapora e deposita cristais de sal nas palhetas, causando incrustação e corrosão química.¹⁶

- **Desafio da Corrosão Sulfídica:** Se o sal (NaCl) atingir a câmara de combustão, o sódio reage com o enxofre presente no combustível (mesmo em baixas concentrações) para formar sulfato de sódio (Na_2SO_4).

Este composto funde-se nas palhetas da turbina, dissolvendo as camadas de proteção contra oxidação, um fenômeno conhecido como corrosão a quente ou sulfidação.¹⁹

3.2 O COMPRESSOR AXIAL

Responsável por fornecer grandes volumes de ar a altas pressões, o compressor consome a maior parte da energia produzida pela turbina.

- **Aerodinâmica:** Composto por múltiplos estágios (frequentemente 10 a 20), cada um contendo um disco de palhetas rotativas (**rotor blades**) seguido por um anel de palhetas estacionárias (**stator vanes**).

O rotor adiciona energia cinética ao fluido, acelerando-o, enquanto o estator converte essa velocidade em pressão estática através de um canal difusor divergente.

- **Controle de Fluxo (IGVs/VGVs):** As **Inlet Guide Vanes (IGVs)** e **Variable Guide Vanes (VGVs)** são palhetas de ângulo variável localizadas nos primeiros estágios.

Elas modulam o fluxo de massa de ar durante a partida (para evitar estol) e em cargas parciais. Em ciclo combinado, as IGVs fecham-se parcialmente para reduzir o fluxo de ar e manter a temperatura de escape alta, preservando a eficiência do ciclo a vapor subsequente.²⁰

- **Sangrias (Bleed Valves):** Válvulas de sangria inter-estágios são abertas durante transientes de rotação para aliviar a pressão e prevenir o fenômeno destrutivo de **Surge** (reversão violenta do fluxo).²²

3.3 A CÂMARA DE COMBUSTÃO (COMBUSTOR)

O coração térmico da máquina, onde a energia química é liberada.

- **Configurações:**
 - *Annular:* Comum em aeroderivativas (LM2500), oferece distribuição térmica uniforme e compacidade.
 - *Can-Annular:* Típica de máquinas Heavy Duty (GE Frame 7/9, Siemens SGT-8000H), facilita a manutenção individual dos "cestos" ou "latas" de combustão.¹
- **Tecnologia DLN (Dry Low NOx):** Devido à legislação ambiental brasileira (CONAMA), utiliza-se tecnologia de pré-mistura pobre.

O combustível e o ar são misturados antes da zona de combustão primária, operando com excesso de ar para baixar a temperatura de chama adiabática e suprimir a formação térmica de NOx.

Contudo, essa tecnologia é suscetível a instabilidades termoacústicas ("humming"), que podem causar vibrações destrutivas se não monitoradas.⁶

3.4 A TURBINA DE POTÊNCIA

Submetida às condições mais extremas de engenharia, a seção de turbina extrai trabalho dos gases quentes.

- **Materiais Avançados:** As palhetas dos primeiros estágios operam em ambientes que excedem o ponto de fusão do material base.

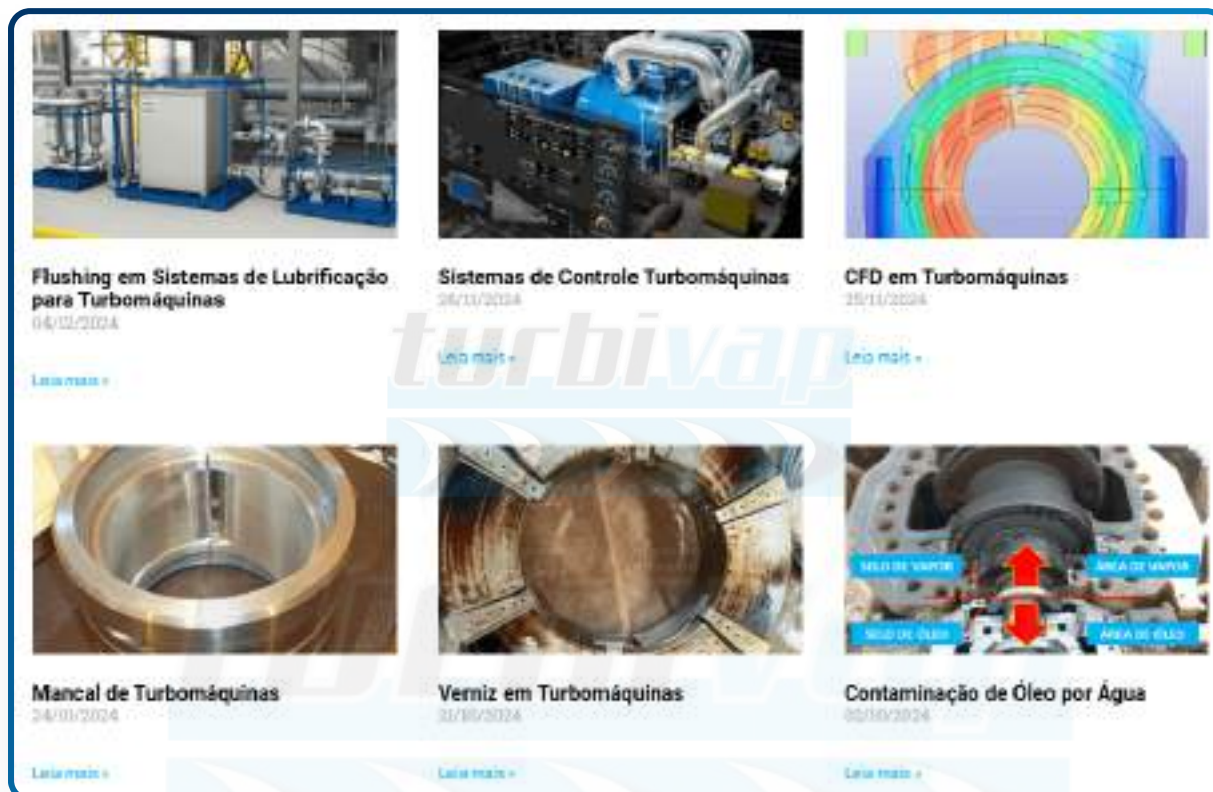
Utilizam-se superligas à base de níquel (Inconel, René, CMSX) fundidas com tecnologia **Single Crystal** (monocristalina) para eliminar contornos de grão, que são as vias principais para a falha por fluência (creep).²³

- **Resfriamento e TBC:** As palhetas são ocas e possuem furos complexos para circulação de ar de resfriamento (sangrado do compressor), criando uma película de ar frio sobre a superfície (*film cooling*).

Além disso, recebem **Revestimentos de Barreira Térmica (TBC)** cerâmicos (zircônia estabilizada com ítria) que isolam termicamente o metal.²⁴

3.5 MANCAIS E MONITORAMENTO DE VIBRAÇÃO

- **Tipos:** Máquinas industriais pesadas utilizam mancais de deslizamento (*tilt-pad*) lubrificados por filme de óleo hidrodinâmico, oferecendo amortecimento superior. Aeroderivativas utilizam mancais de rolamento (*anti-friction*) devido às altas rotações e arquitetura multi-eixo.
- **Norma API 670:** O monitoramento da saúde rotodinâmica é mandatório. Sensores de proximidade (*eddy current probes*) medem a vibração radial do eixo e o deslocamento axial (*thrust position*) para proteção contra falhas catastróficas.²²



[Acesse Nossos Outros Conteúdos](#)



4. Aplicações Típicas e Relevância no Brasil

A versatilidade da turbina a gás permite sua aplicação em setores críticos da infraestrutura nacional.

4.1 GERAÇÃO OFFSHORE E O PRÉ-SAL

O Brasil é líder mundial na utilização de FPSOs. Nestas plataformas, turbinas aeroderivativas (como a **GE LM2500+G4** e **Siemens SGT-A35**) são a única fonte de energia elétrica e acionamento mecânico para compressores de exportação de gás.

- **Complexidade do Gás Combustível:** O gás associado do pré-sal frequentemente contém altos teores de CO_2 e contaminantes. As turbinas precisam ser adaptadas

para lidar com variações no **Índice de Wobbe** (intercambiabilidade do gás) sem perder a estabilidade da chama ou sofrer *blowout* (apagamento).¹⁸

- **Logística:** A preferência por aeroderivativas deve-se à capacidade de manutenção modular. Um gerador de gás pode ser substituído em menos de 48 horas, enquanto uma turbina industrial exigiria semanas de desmontagem no convés, o que é inviável em operações offshore.⁴



4.2 GERAÇÃO TERMELÉTRICA CENTRALIZADA (UTES)

As grandes UTEs brasileiras atuam como garantidoras de potência e energia.

- **UTE Porto de Sergipe I:** Opera com três turbinas **GE 7HA**.⁰² em ciclo combinado. É um exemplo da tendência de usar GNL (Gás Natural Liquefeito) importado, permitindo a instalação de usinas próximas aos centros de carga, independentemente da malha de gasodutos.³⁰
- **GNA I e II (Porto do Açu):** Utilizam turbinas **Siemens SGT-8000H**. Representam a integração entre logística portuária de gás e geração de energia em larga escala (3 GW de potência instalada no complexo), cruciais para a estabilidade do SIN em períodos de seca hidrológica.⁵

4.3 COGERAÇÃO INDUSTRIAL

Indústrias de papel e celulose, química e petroquímica utilizam turbinas a gás para gerar eletricidade e aproveitam o calor de exaustão para gerar vapor de processo em caldeiras de recuperação, atingindo eficiências globais de utilização de combustível superiores a 80%.

5. Principais Falhas e Mecanismos de Degradação

A confiabilidade das turbinas a gás é ameaçada por mecanismos de falha dependentes do tempo e dos ciclos de operação. A compreensão destes modos é vital para a engenharia de manutenção.

5.1 FLUÊNCIA (CREEP)

O *creep* é a deformação plástica lenta e progressiva de materiais submetidos a tensão constante sob altas temperaturas (geralmente acima de 40% da temperatura de fusão homóloga).

- **Localização Crítica:** Palhetas rotativas do primeiro estágio da turbina.
- **Consequência:** Alongamento da palheta até que a ponta toque a carcaça estatora (*rubbing*), causando danos catastróficos, ou ruptura na raiz da palheta.
- **Gestão:** O controle é feito através do monitoramento das **Horas Equivalentes de Operação (EOH)**. A operação acima da temperatura de queima de projeto consome a vida útil de *creep* exponencialmente.²⁵

5.2 FADIGA TÉRMICA (LOW CYCLE FATIGUE - LCF)

Associada aos ciclos de partida e parada. Durante a partida, a superfície externa da palheta aquece muito mais rápido que o núcleo, criando tensões compressivas na superfície e trativas no interior. Na parada, o processo inverte-se.

- **Impacto no Brasil:** Turbinas que operam em regime de *peaking* (despacho esporádico) acumulam danos por LCF muito mais rapidamente do que máquinas em base load. O número de partidas é frequentemente mais limitante para a manutenção do que o número de horas operadas.²⁵

5.3 FOULING (INCRUSTAÇÃO DO COMPRESSOR)

A deposição de micropartículas nas palhetas do compressor altera o perfil aerodinâmico, reduzindo a vazão de ar e a eficiência da compressão.

- **Sintomas:** Perda de potência (MW), aumento da temperatura de exaustão e redução da margem de *surge*.
- **Recuperação:** Realiza-se através de lavagem com água desmineralizada e detergente. A **lavagem online** (com a máquina operando) mantém a limpeza, enquanto a **lavagem offline** (crank wash) restaura a potência degradada.³⁶

5.4 CORROSÃO A QUENTE (HOT CORROSION)

Dividida em Tipo I (Alta Temperatura: 800-950°C) e Tipo II (Baixa Temperatura: 650-800°C). É acelerada pela presença de contaminantes como enxofre (do combustível), sódio e potássio (do ar ou água). No Brasil, a combinação de diesel com teor de enxofre e ar marinho cria o ambiente ideal para este ataque sulfídico acelerado.¹⁹

6. Aspectos Normativos:



Regulamentação Brasileira e Padrões Internacionais

A operação segura e legal de turbinas a gás no Brasil exige a navegação por um complexo arcabouço normativo.

6.1 NORMAS API (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE)

Embora americanas, as normas API são o padrão *de facto* na indústria de óleo e gás brasileira.

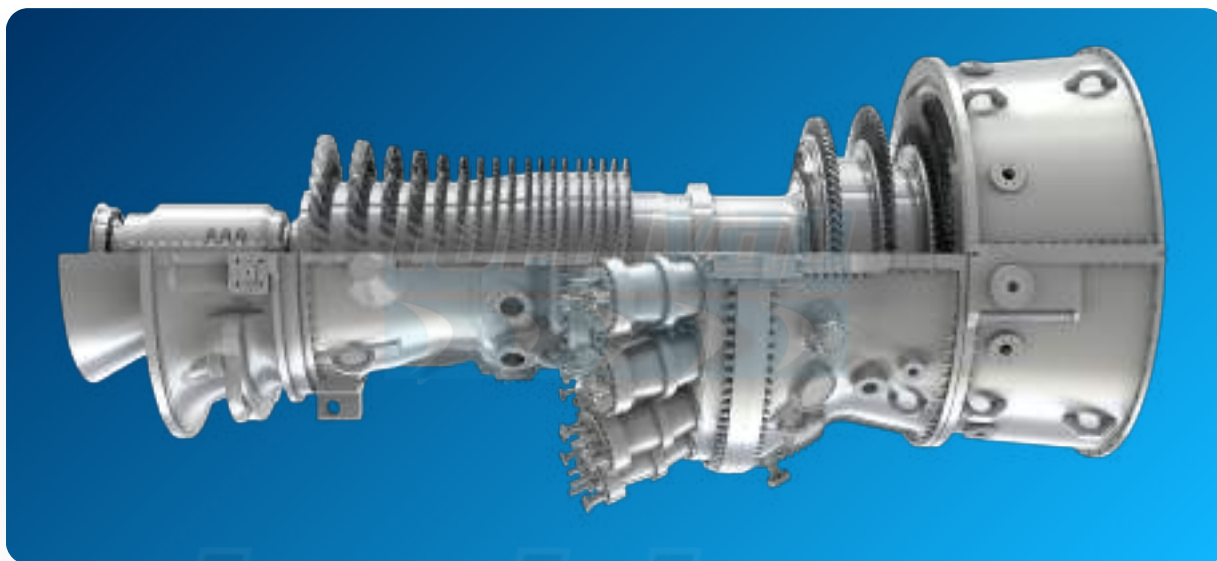
- **API 616:** Define os requisitos para aquisição de turbinas a gás para serviços de petróleo e gás químico. Estabelece critérios de vibração, materiais e testes de performance.⁴

- **API 670:** Rege os sistemas de proteção de máquinas. Exige redundância em sensores de vibração e temperatura para garantir que a máquina desligue (*trip*) automaticamente em caso de falha, prevenindo desintegração mecânica.²²
- **API 611 vs. API 616:** É crucial não confundir. A **API 611** aplica-se a turbinas a vapor de uso geral, não a turbinas a gás. A especificação incorreta pode levar a inadequações severas de projeto.⁴¹

6.2 A NORMA REGULAMENTADORA NR-13 E O ENQUADRAMENTO LEGAL

A **NR-13** (Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques) do Ministério do Trabalho é frequentemente mal interpretada no contexto de turbinas.

- **A Turbina:** A carcaça da turbina propriamente dita **não** é considerada um vaso de pressão sob a ótica da NR-13, pois é uma máquina dinâmica de fluxo contínuo.⁴³
- **Os Periféricos:** Todavia, os sistemas auxiliares são mandatórios. **Filtros de gás combustível, separadores de óleo, trocadores de calor e acumuladores hidráulicos** acoplados ao skid da turbina são vasos de pressão e devem possuir prontuário, placa de identificação, dispositivo de segurança (PSV) calibrado e inspeção periódica por Profissional Habilitado (PH).⁴³
- **HRSG:** A Caldeira de Recuperação em ciclos combinados é inequivocamente uma caldeira sob a NR-13, exigindo o mais alto rigor de fiscalização.⁴⁵



7. Estratégias de Manutenção e Otimização Operacional

Para maximizar a disponibilidade no mercado brasileiro, estratégias específicas são adotadas.

7.1 PLANEJAMENTO BASEADO EM HORAS EQUIVALENTES (EOH)

A manutenção não segue apenas o tempo cronológico, mas sim um cálculo de dano acumulado. Uma partida rápida pode contar como 20 ou 50 horas equivalentes de desgaste devido à fadiga térmica induzida.

Os contratos de manutenção (LTSA - Long Term Service Agreements) com fabricantes como GE e Siemens são baseados nestas fórmulas.⁴⁶

7.2 INSPEÇÃO BOROSCÓPICA

A ferramenta de diagnóstico primária. Através de orifícios de acesso (*borescope ports*), técnicos inserem câmeras flexíveis para avaliar a condição interna sem desmontagem (desmontagem *split-case*).

- **O que se busca:** Perda de revestimento cerâmico (TBC spalling), trincas em bordas de ataque, erosão por partículas sólidas e deformação por *creep* (efeito "pescoço" nas palhetas). Inspeções anuais ou semestrais são "Best Practices" recomendadas para evitar falhas não planejadas.⁴⁷



TABELA RESUMO: PRINCIPAIS MODELOS DE TURBINAS NO BRASIL



FABRICANTE	MODELO	TIPO	POTÊNCIA ISO (MW)	EFICIÊNCIA A CICLO SIMPLES	APLICAÇÃO PRINCIPAL BR
GE Vernova	LM2500+G4	Aeroderivativa	~32 MW	~41%	Offshore, FPSOs (Petrobras)
GE Vernova	7HA. ⁰²	Heavy Duty	384 MW	>43%	UTE Porto de Sergipe (Ciclo Combinado)
Siemens Energy	SGT-A35 (RB211)	Aeroderivativa	30-34 MW	~40%	Plataformas Offshore (Bacia de Santos)
Siemens Energy	SGT-8000H	Heavy Duty	~450 MW	~41%	UTE GNA I e II (Porto do Açu)
Solar Turbines	Titan 130	Industrial Leve	15 MW	~35%	Compressão de Gasodutos, Cogeração

8. Conclusão

A turbina a gás transcende a definição de simples motor; ela é o vetor tecnológico que permite a integração de fontes renováveis intermitentes (ao prover *backup* rápido) e viabiliza a produção de petróleo em fronteiras tecnológicas como o pré-sal.

O domínio de sua termodinâmica, metalurgia e manutenção é imperativo para a engenharia brasileira.

O futuro aponta para a descarbonização gradual através da co-queima de hidrogênio e o uso de biocombustíveis, exigindo adaptações nos sistemas de combustão e controle.

Entretanto, os princípios fundamentais do Ciclo Brayton e a necessidade rigorosa de manutenção preditiva e conformidade normativa (NR-13/API) permanecerão como os pilares da operação segura e eficiente no Brasil.



Como Podemos Ajudar?

Somos uma empresa de engenharia independente e especializada em turbomáquinas e cogeração de energia, atuando e integrando soluções **em cursos, treinamentos, fornecimentos técnicos, diligenciamentos, consultoria, equalização de propostas, estudos de viabilidade e peritagem de turbomáquinas, especialmente turbinas a vapor.**

Uma empresa brasileira sediada no município de Campinas – Estado de São Paulo.

Ajudamos os nossos clientes a capacitarem seus colaboradores sobre entendimento, funcionamento e problemas de turbomáquinas, encontrando e integrando soluções técnicas de produtos e serviços, com visão independente, imparcial e com viabilidade técnica-comercial.

Reunimos uma equipe altamente qualificada e experiente na área de turbomáquinas. Nossos profissionais e parceiros possuem trajetórias e posições de destaque em empresas e OEM de relevância nacional e internacional no setor.

Somos acessíveis, descomplicados e ágeis.

Consulte-nos

<https://turbivap.com.br/>

suporte@turbivap.com.br

[WhatsApp](#)

+55 19 99715-5350



Conheça Nossos Cursos

Conheça nossos cursos presenciais "In Company", Digital e Remoto.

Podemos ajudar com treinamentos corporativos sobre turbinas a vapor, ciclo combinado, turbina a gás, caldeira de recuperação, eletrificação industrial e muito mais. Solicite uma proposta, agende uma apresentação.

Acesse nosso site e veja nossos cases de sucesso.

[Conhecer cases de sucesso.](#)



Referências citadas

1. Notes on Thermodynamics, Fluid Mechanics, and Gas Dynamics 3.8.5. The Brayton Cycle and Improvements - Purdue Engineering, acessado em janeiro 21, 2026, https://engineering.purdue.edu/~wassgren/teaching/ME20000/NotesAndReading/Lec39_Reading_Wassgren.pdf
2. brayton power cycle experiment objective - Turbine Technologies, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.turbine technologies.com/educational-lab-products/turbojet-engine-lab/brayton-cycle-experiment-jet-engine>
3. 3.7 Brayton Cycle - MIT, acessado em janeiro 21, 2026, <https://web.mit.edu/16.unified/www/SPRING/propulsion/notes/node27.html>
4. Turbines - SupplHi, acessado em janeiro 21, 2026, https://www.supplhi.com/app/uploads/2019/09/10-SupplHi-Standard-Categorization-Turbines_compressed.pdf
5. SGT5-8000H Heavy-duty gas turbine (50 Hz) - Siemens Energy, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.siemens-energy.com/us/en/home/products-services/product/sgt5-8000h.html>
6. SGT-8000H gas turbine series – proven in commercial ... - Siemens, acessado em janeiro 21, 2026, <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:13a463f34cfb80b549bf3f46da7a552e5e11c349/sgt-8000h-gas-turbine-series-en.pdf>
7. MTU Power signs long-term service agreement with Petrobras, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.mtu.de/newsroom/press/press-archive/press-archive-detail/mtu-power-signs-long-term-service-agreement-with-petrobras/>
8. SGT-A35 gas turbine - Siemens Energy, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.siemens-energy.com/us/en/home/products-services/product/sgt-a35.html>
9. Brayton cycle - Wikipedia, acessado em janeiro 21, 2026, https://en.wikipedia.org/wiki/Brayton_cycle
10. acessado em janeiro 21, 2026, <https://adg efficiency.com/blog/ambient-temperature-impact-on-gas-turbine-performance/#:~:text=Colder%20air%20means%20we%20get,mass%20flowing%20through%20the%20turbine.>
11. Turbine Engine Thermodynamic Cycle - Brayton Cycle, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/brayton.html>
12. Deepwater production platforms go 'green' - Brazil Energy Insight, acessado em janeiro 21, 2026, <https://brazilenergyinsight.com/2023/11/02/deepwater-production-platforms-go-green/>
13. Gas Turbines & Ambient Temperature - ADG Efficiency, acessado em janeiro 21, 2026, <https://adg efficiency.com/blog/ambient-temperature-impact-on-gas-turbine-performance/>
14. Advice on Power Factor and Accuracy of Temperature Dependant Outputs - AEMO, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.aemo.com.au/-/media/archive/docs/default-source/rules/commenced/pc-2010-06skm-report-on-load-factor-and-heat-rate-advice6a0.pdf?rev=3684b83f94634957806d47269a16209c>
15. Power Output versus Ambient Temperature. | Download Scientific Diagram - ResearchGate, acessado em janeiro 21, 2026, https://www.researchgate.net/figure/Power-Output-versus-Ambient-Temperature_fig3_260096172
16. PITTING CORROSION LED TO CATASTROPHIC GAS TURBINE COMPRESSOR BLADE LIBERATION - OAKTrust, acessado em janeiro 21, 2026, <https://oaktrust.library.tamu.edu/items/0c1f9a67-e487-45e4-9d85-0b9981e649c2>
17. Offshore Filtration System | Gas Turbine - AAF International, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.aafintl.com/en/industry/energy-product/offshore-filtration-system/>
18. Impact of EPA Air Intake Filtration on Gas Turbines Operating in Middle East Offshore Applications and Fueled with Sour Gas. - ETN Global, acessado em janeiro 21, 2026, <https://etn.global/wp-content/uploads/2018/09/Impact-of-EPA-Filtration-Air-Intake-Filtration-on-Gas-Turbines-Operating-in-Middle-East-Offshore-Applications-and-Fueled-with-Sour-Gas.pdf>
19. Salt & Hot Corrosion in Power Systems - Camfil, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.camfil.com/en-us/insights/energy-and-power-systems/salt-and-hot-corrosion>
20. Online Compressor Washing | Automation & Control Engineering Forum, acessado em janeiro 21, 2026, <https://control.com/forums/threads/online-compressor-washing.31641/>
21. Gas Turbine Performance Deterioration and Compressor Washing - Turbomachinery Laboratory - Texas A&M University, acessado em janeiro 21, 2026, <https://turbolab.tamu.edu/wp-content/uploads/2018/08/METS2Tutorial5.pdf>
22. API Standard 670, acessado em janeiro 21, 2026, https://www.api.org/~media/files/publications/whats%20new/670_e5%20pa.pdf
23. Corrosion-Fatigue Failure of Gas-Turbine Blades in an Oil and Gas Production Plant - NIH, acessado em janeiro 21, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7078905/>

24. heavy-duty gas turbine operating and maintenance ... - GE Vernova, acessado em janeiro 21, 2026, https://www.gevernova.com/content/dam/gepower-new/global/en_US/downloads/gas-new-site/resources/reference/GER-3620-P.pdf
25. What are the limiting factors in gas turbine hot section components? - TWI, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-are-the-limiting-factors-in-gas-turbine-hot-section-components>
26. API SPECIFICATION REVIEW FOR GAS TURBINE DRIVEN TURBOCOMPRESSORS - OAKTrust, acessado em janeiro 21, 2026, <https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/163192/18-BRUN.pdf>
27. API 670 : 2014 MACHINERY PROTECTION SYSTEMS - Intertek Inform, acessado em janeiro 21, 2026, https://www.intertekinform.com/en-gb/standards/api-670-2014-97086_saig_api_api_203499/
28. GE expands distributed power presence in Brazil's offshore sector - T&B Petroleum, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.tbpetroleum.com.br/noticia/ge-expands-distributed-power-presence-in-brazils-offshore-sector/>
29. Siemens to deliver gas turbine packages, services for Petrobras' Sêpia FPSO | Press, acessado em janeiro 21, 2026, <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-deliver-gas-turbine-packages-services-petrobras-sepia-fpso>
30. Power plant profile: UTE Porto de Sergipe I Power Plant, Brazil - Power Technology, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.power-technology.com/data-insights/power-plant-profile-ute-porto-de-sergipe-i-power-plant-brazil/>
31. 7HA Gas Turbine - GE Vernova, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.gevernova.com/gas-power/products/gas-turbines/7ha>
32. Usinas Termelétricas - GNA - Gás Natural Açú, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.gna.com.br/nossos-negocios/usinas-termeletricas>
33. GNA inaugura maior termelétrica do Brasil!, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.spicbrasil.com.br/destaque/gna-inaugura-maior-termeletrica-do-brasil/>
34. Turbine Creep, Fatigue, and Corrosion - Differences Explained - Allied Power Group, acessado em janeiro 21, 2026, <https://alliedpg.com/latest-articles/turbine-creep-fatigue-corrosion-differences-explained/>
35. Common Causes of Gas Turbine Failure | Allied Power Group, acessado em janeiro 21, 2026, <https://alliedpg.com/latest-articles/common-causes-gas-turbine-failure/>
36. The Difference Between Offline vs. Online Turbine Cleaning - EAI Industrial Services, acessado em janeiro 21, 2026, <https://eaiservices.com/blog/offline-vs-online-turbine-cleaning/>
37. 2011 Outage Handbook - Online, Offline Washing - Combined Cycle Journal, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.ccj-online.com/special-issue-2011-outage-handbook/2011-outage-handbook-online-offline-washing/>
38. Understanding the impacts of poor air filtration on gas turbine performance, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.aafintl.com/en-gb/industry/insights/understanding-the-impacts-of-poor-air-filtration-on-gas-turbine-performance/>
39. A Review on the Corrosion and Fatigue Failure of Gas Turbines - MDPI, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.mdpi.com/2075-4701/13/4/701>
40. Api 616 2022 | PDF | Turbine | Gas Turbine - Scribd, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.scribd.com/document/881276639/API-616-2022>
41. Study Guide for Source Inspection and Quality Surveillance of Rotating Equipment - American Petroleum Institute, acessado em janeiro 21, 2026, https://www.api.org/~media/files/certification/icp/icp-certification-programs/si_suite_documents/sire/sire_study%20guide_20181002.pdf
42. API 611 Scope | PDF | Steam | Turbine - Scribd, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.scribd.com/doc/214748474/API-611-Scope>
43. Perguntas e Respostas - NR 13 - Portal Gov.br, acessado em janeiro 21, 2026, https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/perguntas-e-respostas-nr13_2023_04_28.pdf
44. UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA MURILO CAMISÃO SCHWINDEN A EVOLUÇÃO DA NR-13 AO LONGOS DOS ANOS E SEUS IMPACTOS Tubarão 2019, acessado em janeiro 21, 2026, <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstreams/175947e3-bbda-42ae-aa3d-3a94f8bf0741/download>
45. NR-13 CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO, TUBULAÇÕES E TANQUES METÁLICOS DE ARMAZENAMENTO - Portal Gov.br, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-13-atualizada-2023-b.pdf>
46. PT Training Manual | PDF | Motor a jato | Turbina a gás - Scribd, acessado em janeiro 21, 2026, <https://pt.scribd.com/document/496085074/155981176-pt-Training-Manual>

47. Frame 7EA Inspection Recommendations | PDF - Scribd, acessado em janeiro 21, 2026, <https://www.scribd.com/doc/234515443/Frame-7EA-Inspection-Recommendations>
48. Best Practices for Turbine Shaft Inspection | Allied Power Group, acessado em janeiro 21, 2026, <https://alliedpg.com/latest-articles/best-practices-turbine-shaft-inspection/>
49. Gas Turbine Internal Inspection with Minimum Disassembly - ASME Digital Collection, acessado em janeiro 21, 2026, <https://asmedigitalcollection.asme.org/GT/proceedings-pdf/GT1974/79788/V01AT01A015/2391113/v01at01a015-74-gt-15.pdf>





turbivap.com.br

Nota Legal

As informações contidas neste documento são fornecidas apenas para fins de referência geral e educação técnica. A TURBIVAP não garante a exatidão, integridade ou atualidade dos dados apresentados, os quais podem variar conforme o modelo do equipamento e atualizações do fabricante. Imagens são meramente ilustradas. As marcas eventualmente citadas pertencem aos seus respectivos proprietários. A menção a elas é feita para fins de referência técnica e editorial, não implicando vínculo comercial direto ou representação oficial, salvo se expressamente declarado. Este material não substitui a consultoria de engenharia especializada para casos concretos. Não nos responsabilizamos por danos materiais, acidentes pessoais, lucros cessantes, paradas de produção ou quaisquer outros efeitos adversos decorrentes do uso, interpretação ou aplicação das informações contidas neste documento. O leitor assume total responsabilidade pelo uso destas informações.