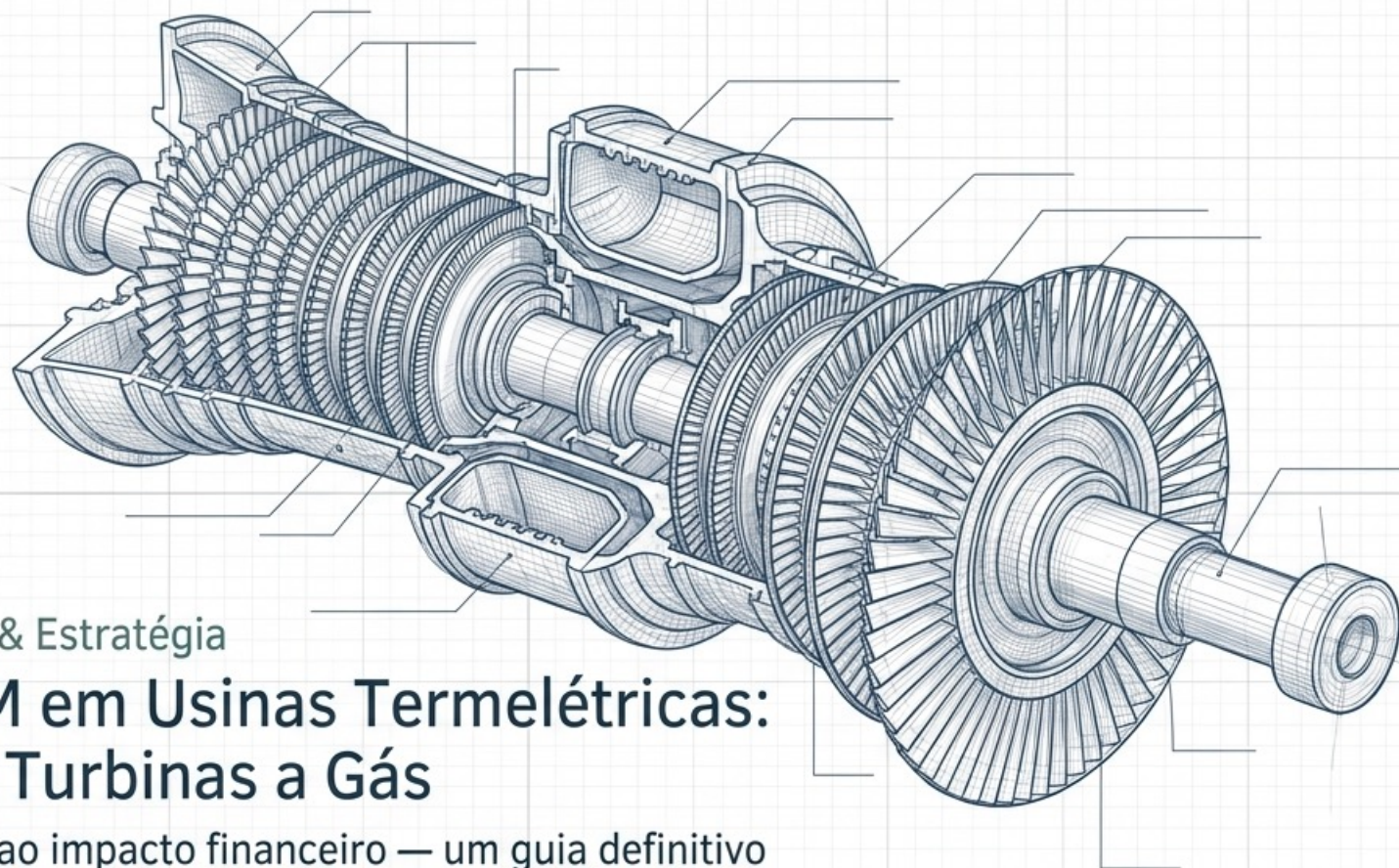




Dossiê de Engenharia & Estratégia

## Gestão de O&M em Usinas Termelétricas: Otimização de Turbinas a Gás

Da física dos materiais ao impacto financeiro — um guia definitivo sobre EOH, mecanismos de degradação e manutenção avançada.

OUTUBRO 2023 | DIRETORIA DE ENGENHARIA

# O Blueprint Executivo da Gestão de O&M



# A Física do Desgaste: Mecanismos de Degradação do Caminho de Gás Quente

1

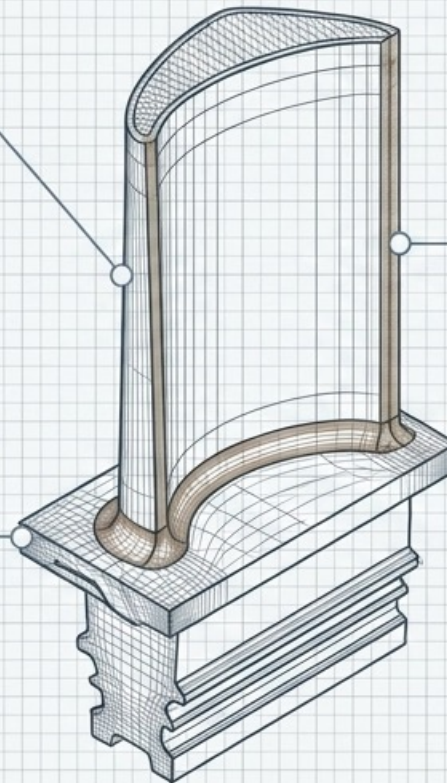
## Fluência (Creep)

Deformação plástica dependente do tempo sob alta temperatura e estresse centrífugo. Dominante no corpo da palheta em operação de carga de base prolongada.

2

## Fadiga Térmica (LCF)

Trincas induzidas por ciclos extremos de aquecimento e resfriamento (expansão/contração). Dominante nas bordas de ataque durante partidas e desarmes.



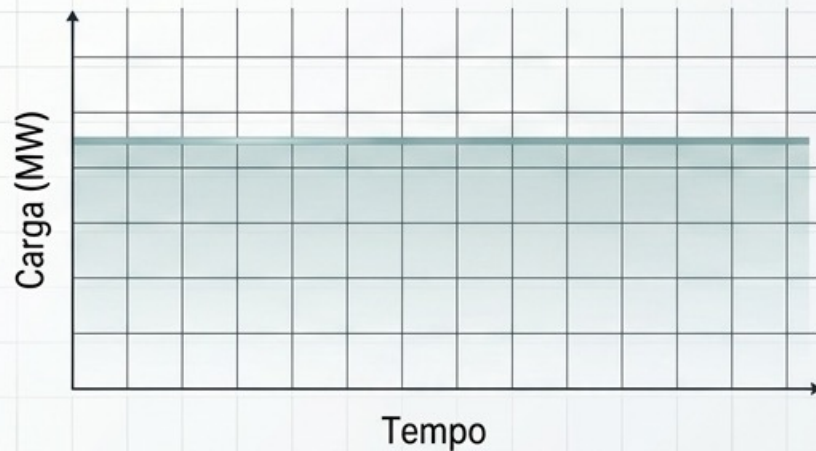
3

## Oxidação e Corrosão

Reações químicas severas causadas por gases a mais de 1480°C e contaminantes do combustível (vanádio, sódio). Degrada os revestimentos térmicos (TBC).

# Perfil Operacional: Como o Despacho Dita a Degradação

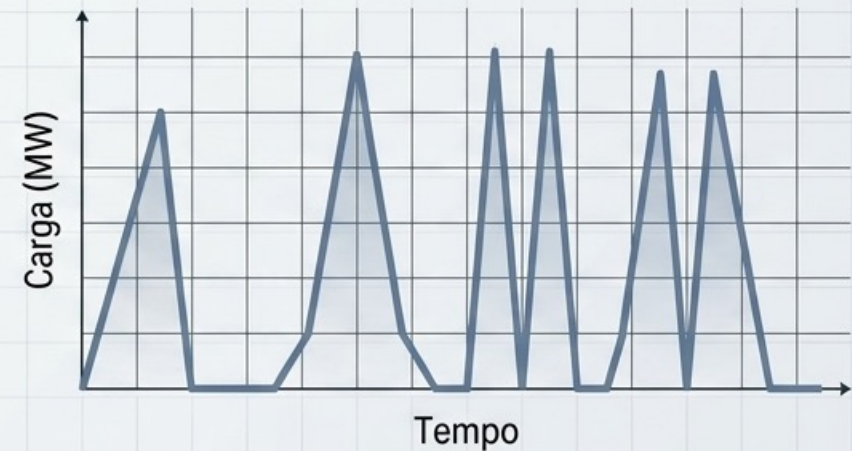
## Operação em Carga de Base (Contínua)



Temperaturas constantes e elevadas.

Mecanismo dominante: Fluência Térmica e Oxidação. A vida útil é limitada pelo tempo de exposição (Horas Faturadas).

## Operação Cíclica (Peaking)

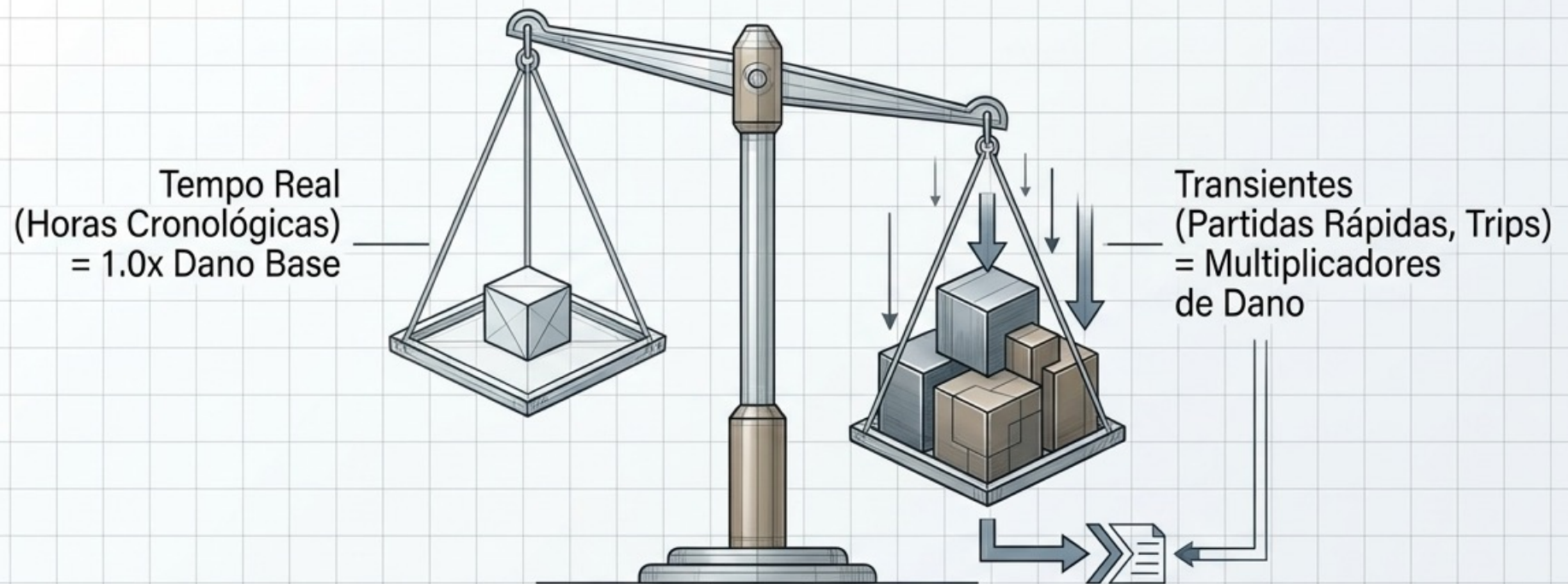


Partidas frequentes, rampas agressivas e desarmes (trips).

Mecanismo dominante: Fadiga Termomecânica de Baixo Ciclo (LCF). A vida útil é limitada pelo estresse térmico transitório (Partidas Faturadas).

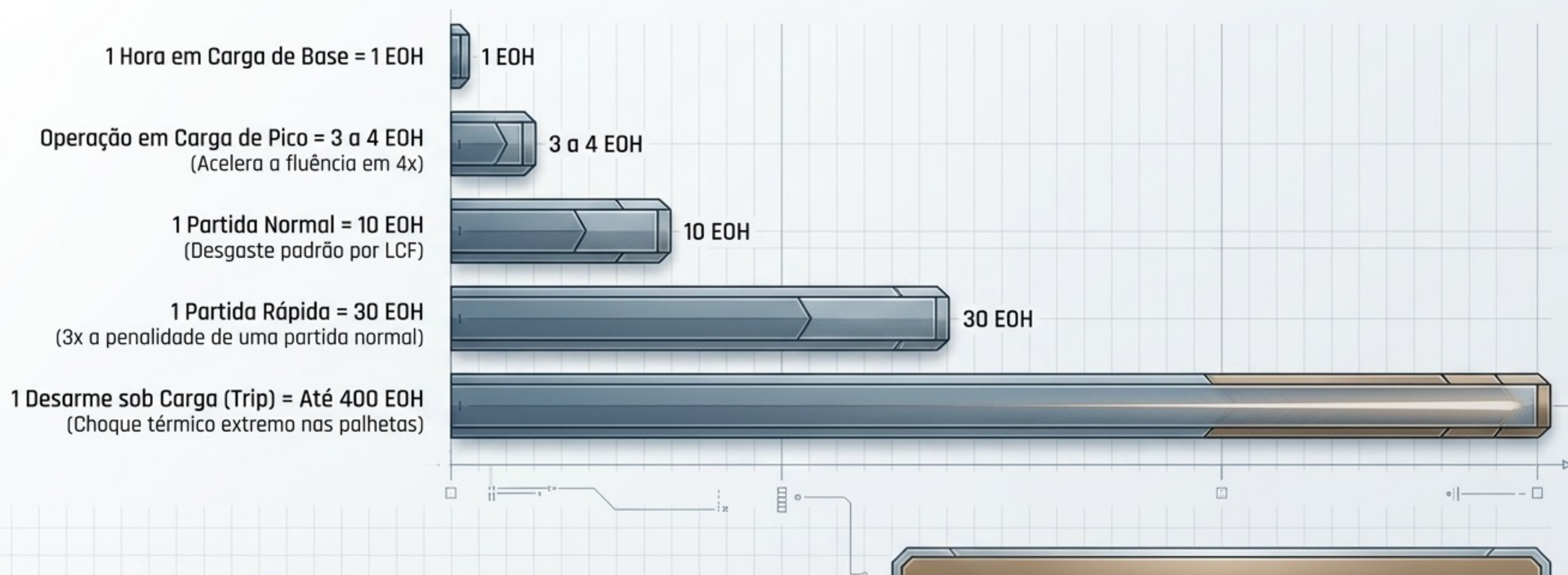
## O Paradigma EOH (Equivalent Operating Hours)

Convertendo o estresse termomecânico em uma métrica padronizada de consumo de vida.



O cálculo de EOH consolida o desgaste de regimes cíclicos e estáveis em uma variável preditiva única. A contagem de horas cronológicas isolada é cega aos danos severos causados pela dinâmica da rede.

# A Penalidade dos Transientes: Fatores de Ponderação EOH

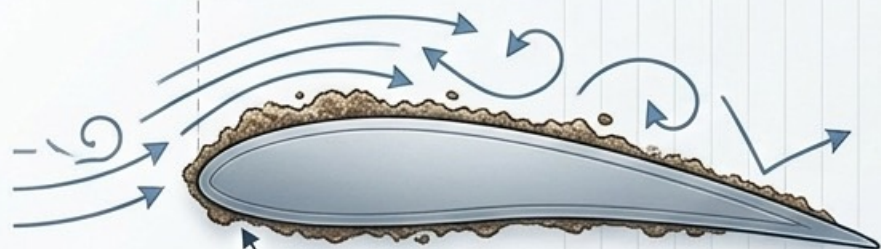
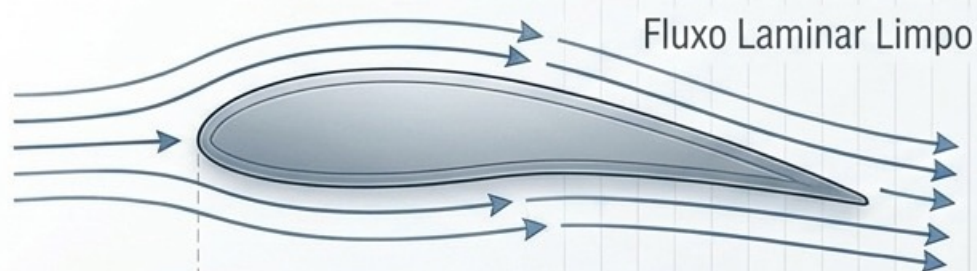


Um único desarme em alta carga pode consumir o equivalente a mais de duas semanas de operação contínua.

# O Espectro Estratégico de Manutenção

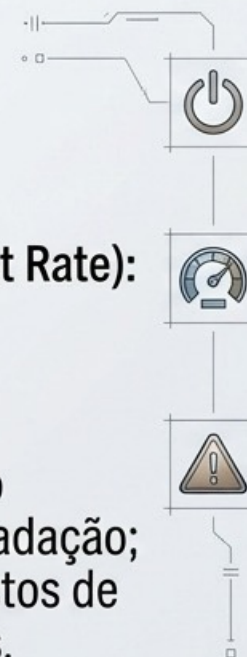
| Corretiva<br>(Reativa)                                                                                                                                                                                                                                                | Preventiva<br>(Baseada em Tempo/EOH)                                                                                                                                                                                                                                                                                              | CBM<br>(Baseada em Condição)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ação:</b> Operar até a falha.</li><li>• <b>Custo:</b> Reparos de emergência 3x a 5x mais caros; tempo de inatividade severo.</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ação:</b> Intervenções em intervalos fixos do OEM.</li><li>• <b>Custo:</b> Seguro, porém cego à condição real. Pode resultar em manutenções prematuras ou perda de vida útil residual.</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ação:</b> Orientada por dados reais de degradação, vibração e termodinâmica.</li><li>• <b>Custo:</b> Reduz o tempo de inatividade em até 65% (dados PMOPT), otimizando o momento exato da intervenção através do EOH dinâmico.</li></ul>  |

## O Problema da Incrustação (Fouling) Aerodinâmica



Partículas de poeira, sal e óleos alteram o perfil aerodinâmico da palheta axial, reduzindo a razão de compressão e a margem de surge.

- **Perda de Potência (MW):**  
4% a 5% de redução.
- **Consumo Específico (Heat Rate):**  
Aumento de 3% a 4%.
- **Ação Crítica:**  
O limite para intervenção econômica é 5% de degradação; ultrapassar isso gera custos de combustível irreversíveis.



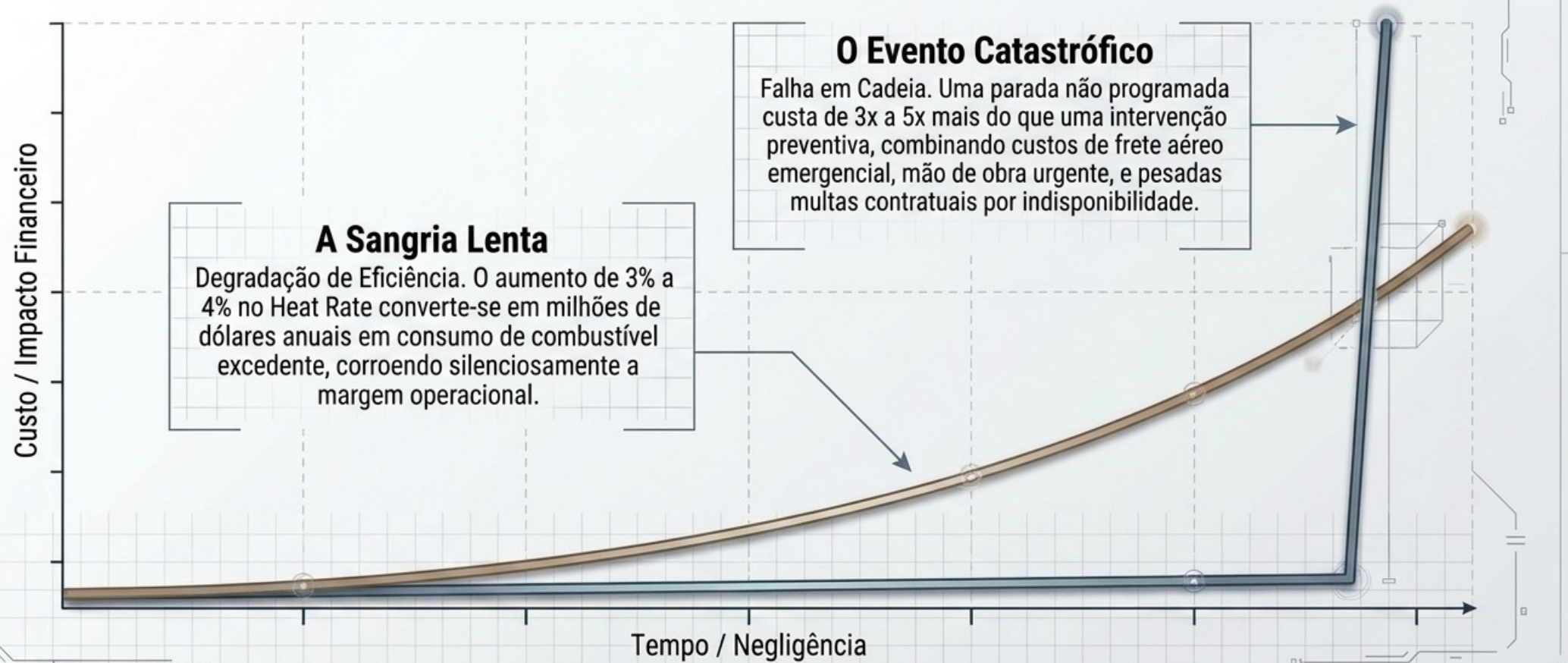
## Mitigação: Matriz de Diagnóstico de Lavagem do Compressor

|                    | Lavagem Online                                              | Lavagem Offline (Crank Wash)                                                   |
|--------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Estado da Turbina  | Em operação, sob carga reduzida                             | Desligada, resfriada, giro a ~800 RPM                                          |
| Frequência Típica  | Diária a Semanal                                            | Mensal a Trimestral                                                            |
| Parâmetros da Água | Desmineralizada, temperatura ambiente                       | Água desmineralizada quente (80-85°C) + Detergente biodegradável               |
| Objetivo Tático    | Manter a limpeza entre paradas, limpa os primeiros estágios | Limpeza profunda, recupera incrustações resistentes e dissolve sais acumulados |
| Resultado          | Recuperação parcial de potência                             | Recuperação total da potência recuperável                                      |

## Benchmarks da Indústria: Intervalos de Manutenção por Classe

| Classe                      | Inspeção Combustor (CI) | Hot Gas Path (HGPI) | Revisão Geral (Major)                   |
|-----------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------------------------|
| Aeroderivativa (LM2500)     | 4.000 EOH               | -                   | 25.000 - 30.000 EOH                     |
| Industrial (SGT-800)        | Módulos on-site         | -                   | 60.000 EOH                              |
| Heavy-Duty F-Class (W501D5) | 8.000 EOH               | 24.000 EOH          | 48.000 EOH                              |
| Heavy-Duty F-Class (GE 9FA) | 8.000 - 12.000 EOH      | 25.000 - 32.000 EOH | ~64.000 EOH                             |
| Combustão Sequencial (GT26) | Integrado (HGP)         | 32.000 - 40.000 EOH | Extensão até +12k EOH em modo econômico |

# O Impacto Econômico: O Custo Oculto vs. O Risco Catastrófico



# O ROI da Gestão Proativa

**Probabilidade de Falha**

(Modelada via EOH Dinâmico)



**Consequência Financeira**

(Perda de receita + Peças + Mobilização)



**Custo da Intervenção Planejada**

(CBM / Lavagem / Inspeção)



## Exposição Econômica Esperada

A decisão ótima de manutenção ocorre quando o custo da intervenção preditiva é estritamente menor que a exposição econômica multiplicada pelo risco.  
Antecipar paradas com base em EOH otimiza o *downtime* e protege o faturamento.

# Ferramentas Digitais e Analytics Avançado



# Síntese Estratégica: O Ciclo de O&M Otimizado

## As Finanças

Intervenção baseada na Exposição Econômica, maximizando a eficiência de combustível (Heat Rate) e mitigando custos de Forced Outage.

O domínio da O&M Termelétrica não é apenas trocar peças; é gerenciar ativamente o balanço perfeito entre a física dos materiais e a rentabilidade do ativo.

## A Física

Desgaste termomecânico e aerodinâmico capturado em tempo real (Condição da Máquina).

## A Matemática

Atualização dinâmica do EOH e limites do OEM ajustados pelo perfil operacional.



[www.gt2.com.br](http://www.gt2.com.br)