

4

O Modelo Termodinâmico da Turbina a Gás

4.1.

Introdução

Com o intuito de realizar o diagnóstico de falhas em turbinas a gás, são necessários muitos dados para a análise de falha dos componentes. O diagnóstico de falhas em turbinas a gás requer dados suficientes do equipamento para realizar o treinamento e a validação das redes neurais.

Um modelo de desempenho de turbinas a gás é normalmente usado para simular o desempenho das mesmas e gerar dados medidos para as condições escolhidas de deterioração. Portanto, a construção de um modelo de turbina a gás é um importante passo para o diagnóstico de falhas da mesma.

Neste capítulo será feita uma análise do modelo termodinâmico de uma turbina a gás industrial, calibrado para alcançar as características de desempenho descritas na Tabela 1. Este modelo foi utilizado para testar e discutir os requisitos da aplicação de RNAs no diagnóstico de falhas no caminho do gás.

Tabela 1 – Valores de desempenho do modelo da turbina a gás industrial estudado.

Design Point - W501F
Potência - 183,74 MW
Heat Rate - 9,743 kJ/kWh
Vazão de Exaustão - 457,45 kg/s
Temperatura de Exaustão - 594 °C
Vazão de Combustível - 9,938 kg/s

Os valores de desempenho apresentados são para as condições ISO de operação, pressão de 1atm, temperatura ambiente de 59° F (15°

C), umidade relativa do ar de 60% e perdas de pressão na entrada de 3.4 in H₂O e na saída de 5.0 in H₂O, utilizando como combustível gás natural ($PCI_{GN} = 50038,80 \text{ kJ/kg}$) [25].

4.2. Desempenho no Ponto de Projeto

Neste estudo, o desempenho da turbina a gás é calculado usando o programa computacional DESTUR (Desempenho de Turbinas), descrito em [26,27].

Para facilitar a simulação do desempenho, é necessário identificar o layout da turbina e especificar as estações da mesma para o modelo, o qual foi estruturado em blocos, onde cada componente da turbina a gás é modelado separadamente, facilitando a configuração e a inserção dos parâmetros da turbina. Os principais componentes modelados foram o compressor, a câmara de combustão e a turbina, de acordo com o esquema apresentado na Figura 9.

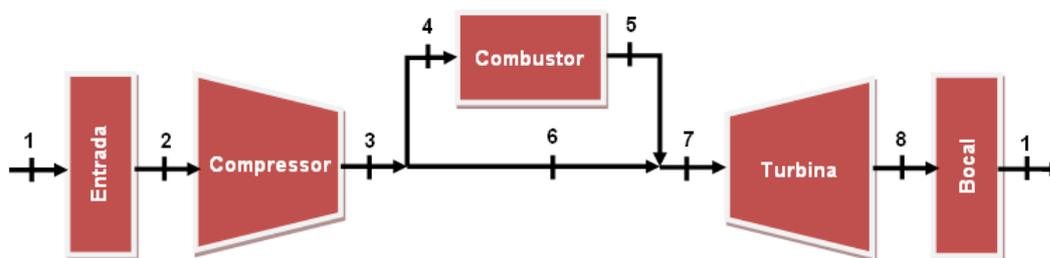


Figura 9 – Esquema representativo de uma turbina a gás industrial.

Após a montagem da estrutura da turbina a gás, é necessário configurar os parâmetros de cada equipamento. Esta é uma importante etapa da modelagem e deve ser conduzida de maneira prudente, pois os parâmetros como, por exemplo, as eficiências, possuem grande influência no desempenho da turbina a gás.

Definidos os parâmetros a serem utilizados, o modelo pode ser simulado. A Tabela 2 sumariza os valores dos parâmetros utilizados no modelo de simulação.

Tabela 2 – Principais parâmetros utilizados no modelo termodinâmico.

Módulos/Parâmetros	Valores
Entrada:	
Perda de pressão [in H ₂ O]	3,4
Vazão mássica de ar [kg/s]	447,5
Compressor:	
Razão de compressão	16,1
Eficiência [%]	88,4
Rotação [rpm]	3600
Extração de ar [%]	17,5
Câmara de combustão:	
Perda de pressão [%]	6
Eficiência [%]	98
Temperatura de saída [K]	1676,58
Turbina:	
Eficiência [%]	91
Rendimento mecânico [%]	99
Contra pressão [in H ₂ O]	5
Rotação [rpm]	3600

Para validar o desempenho no ponto de projeto, dados publicados pelo fabricante foram utilizados para comparar com os resultados simulados. A Tabela 3 mostra a comparação entre os dados simulados e os dados publicados pelo fabricante da turbina a gás.

Tabela 3 – Comparação entre os dados da simulação da turbina a gás e os dados do fabricante.

Design Point - W501F				
Parâmetro	Unidade	Fabricante	Simulação	Diferença (%)
Potência	MW	183,74	183,75	-0,0001
Heat Rate	kJ/kWh	9,743	9,466	0,0284
Vazão de Exaustão	kg/s	457,45	457,17	0,0006
Temperatura de Exaustão	°C	594	592,89	0,0019
Vazão de Combustível	kg/s	9,938	9,656	0,0284

Como a diferença percentual entre os resultados da simulação e os dados do fabricante é muito pequena, então os dados simulados são aceitáveis para os cálculos posteriores de desempenho fora do ponto de

projeto. No Apêndice A podem ser vistos maiores detalhes sobre a calibração do modelo termodinâmico.

4.3. Desempenho Fora do Ponto de Projeto

Turbinas a gás industriais podem trabalhar em diferentes condições ambientes e de operação ao redor do mundo. Até mesmo em um único dia, a turbina a gás pode operar e gerar potência de eixo para manter a produção com grandes variações de temperatura ambiente. O desempenho da turbina a gás é sensível à sua configuração de potência, temperatura ambiente e altitude. O desvio do desempenho em relação ao seu valor do ponto de projeto pode ser observado em diferentes condições de operação em *off-design*.

A Figura 10 apresenta o efeito da temperatura ambiente no desempenho da turbina. Nesta simulação, o efeito da temperatura ambiente é analisado, quando a turbina a gás opera entre -20°C e 35°C . Em dias quentes, a densidade do ar cai, o que resulta em redução da vazão de massa entrando na turbina.

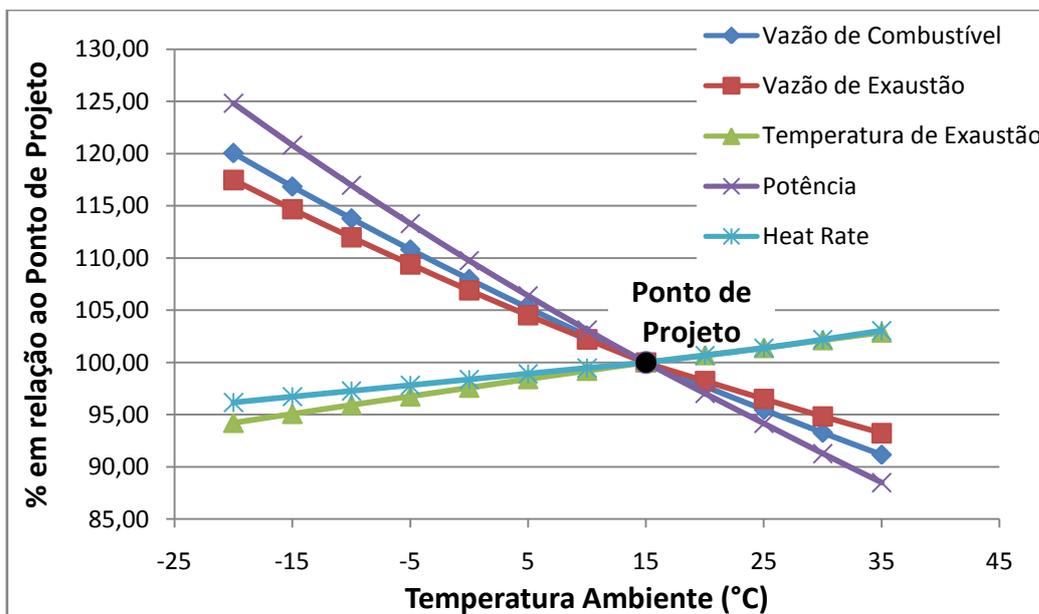


Figura 10 – Efeito da variação da temperatura ambiente em relação ao ponto de projeto.

4.4. Degradação do Desempenho

Quando a turbina a gás está sujeita a falhas no caminho do gás, os componentes degradados resultam em perdas do desempenho total. Compressores e turbinas têm como principais parâmetros característicos a eficiência isentrópica e o coeficiente de vazão. Aqui estes parâmetros serão usados para descrever as falhas dos componentes da turbina a gás.

Neste estudo duas das falhas mais comuns já relatadas são consideradas: acúmulo de sujeira no compressor e erosão e corrosão da turbina, que aqui serão tratadas como uma única falha. Para análise de outros tipos de falhas mais informações são requeridas, como, por exemplo, no estudo do FOD/DOD que necessita de sinais de vibração da máquina. Já no caso do sistema de combustão, o perfil de temperaturas na saída do combustor se faz necessário.

A degradação do compressor é simulada diminuindo-se tanto a sua eficiência isentrópica quanto o seu coeficiente de vazão¹, já a degradação da turbina é simulada através da redução da sua eficiência isentrópica e do aumento do seu coeficiente de vazão. Para exemplificar, foram gerados dados que representam os efeitos da degradação do compressor, nos parâmetros de desempenho da turbina a gás em estudo, conforme a Figura 11, onde 1% de degradação corresponde a 1% da diminuição da eficiência isentrópica e 1% da diminuição do coeficiente de vazão.

Para gerar os dados de falha, o acúmulo de sujeira no compressor foi simulado reduzindo sua eficiência isentrópica e seu coeficiente de vazão de -0,5% até -5%, com passos de 0,25%, enquanto a erosão e corrosão da turbina foram simuladas diminuindo a eficiência isentrópica de -0,5% até -5% e aumentando o coeficiente de vazão de 0,5% até 5%,

¹ Coeficiente de Vazão – Vazão mássica corrigida pela pressão e pela temperatura ou semi-dimensional [36,29]; representa a vazão que escoar pela entrada de uma turbomáquina se o fluido estiver sob pressão e temperatura de referência; em geral utiliza-se a ISA (*International Standard Atmosphere*).

com passos de 0,25%. Com esta configuração, haverá um total de 361 combinações de padrões de falhas para cada falha de componente.

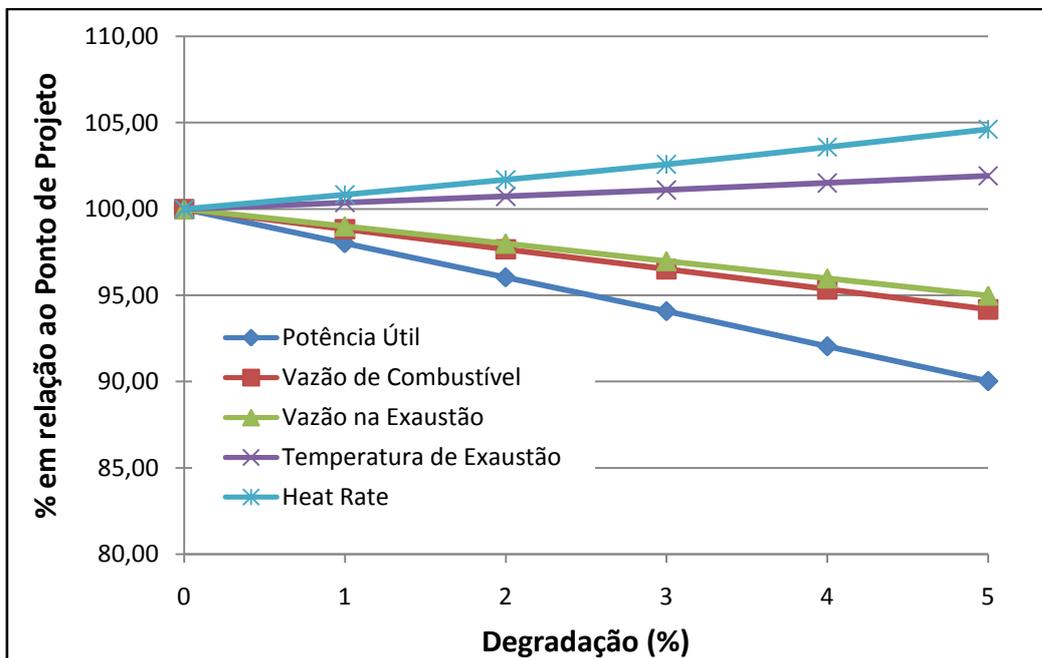


Figura 11 – Efeito da degradação do compressor no desempenho da turbina a gás.

A combinação dessas duas falhas também foi simulada aumentando-se o coeficiente de vazão da turbina de 0,5% até 4%, com passos de 0,5%, e diminuindo-se os demais parâmetros -0,5% até -4%, com passos de 0,5%. O número de padrões de falhas, neste caso, é de 4096.

No total, o modelo gerou 4818 dados de falhas. Com esses dados será possível treinar e validar as redes neurais artificiais. Além disso, um pequeno percentual destes dados será reservado e utilizado para testes finais.