

# Estudo de caso – SIMple®

Montagem de uma turbina a gás a partir de componentes básicos e integração com gerador

## Sumário

Sumário .....	1
Introdução.....	1
Turbina a gás .....	2
Turbinas reais .....	3
O modelo geral.....	3
Resultados .....	6
Conclusões .....	9
Veja também.....	9

## Introdução

A turbina a gás é, provavelmente, o motor à combustão interna mais eficiente já desenvolvido pelo homem. Com rendimento elevado para uma máquina térmica e grande densidade energética, esse dispositivo acabou por conquistar seu espaço nos mais diversos setores, como geração de energia, onde é acoplada a geradores em instalações termelétricas de menor porte, e na indústria aeronáutica, onde são usadas como motores a jato para aviões comerciais e militares.

Nesse exemplo, de forma similar ao feito no [estudo de caso da turbina a vapor](#), a aplicação de turbinas a gás para a geração de energia é explorada, tal como sua integração com um gerador. É mostrado como uma turbina a gás pode ser construída de forma simples a partir de blocos básicos da biblioteca SIMple® Thermal, como compressores e combustores.

## Turbina a gás

O modelo simplificado de uma turbina a gás é apresentado na Figura 1. Esse esquema consiste em um compressor e uma turbina propriamente dita, ligados por um eixo entre si. Enquanto o compressor tem por função comprimir o ar, elevando sua temperatura e energia às custas de determinada quantidade de energia, a ele fornecida, a turbina faz o oposto, reduzindo a pressão do ar que por ela passa e gerando trabalho e gerando, com isso, trabalho. Em uma situação hipotética ideal, onde qualquer perda é desprezível e os processos são reversíveis, essa associação não geraria nenhuma energia excedente a ser fornecida para o gerador, uma vez que o compressor consumiria exatamente a mesma potência que a turbina geraria. Dessa forma, é inserido na saída do compressor um combustor, no qual o ar a alta temperatura, saído do compressor, é misturado com um combustível que, devido às altas temperaturas, se queima e fornece ao ar uma grande quantidade de energia. Essa energia adicional é, em parte, aproveitada pela turbina, transformando-se em um excedente de trabalho que pode ser fornecido a um gerador ou a outros dispositivos mecânicos ou processos industriais.

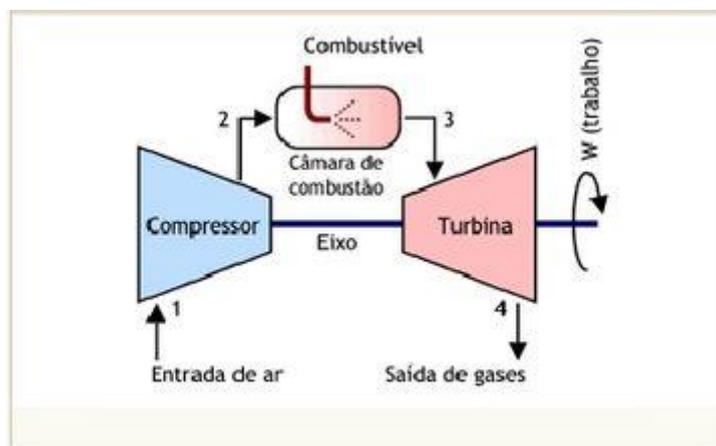


Figura 1 – Esquema simplificado de uma turbina a gás

## Turbinas reais

Em instalações de geração de energia reais e em motores aeronáuticos, as turbinas disponíveis comercialmente são bem mais complexas do que o modelo simplificado prevê. Usualmente, são usados compressores de vários estágios, cada um atuando como um compressor independente sobre o gás, e turbinas com várias seções de expansão. Além disso, diversos controles complexos podem atuar sobre esse tipo de sistema, como, por exemplo, os controles *IGV (Inlet Guide Vane)*, pás que afetam a *performance* dos compressores por meio da alteração da direção do ar em sua entrada. A atuação desses controles sobre o compressor em geral é traduzida em um mapa, no qual valores como a razão de pressão e a eficiência dos compressores e turbinas são associados a entrada fornecida por esses controles e a vazão mássica de ar que passa pelos componentes.

## O modelo geral

O modelo geral construído para o exemplo da turbina a gás pode ser visto na Figura 2.

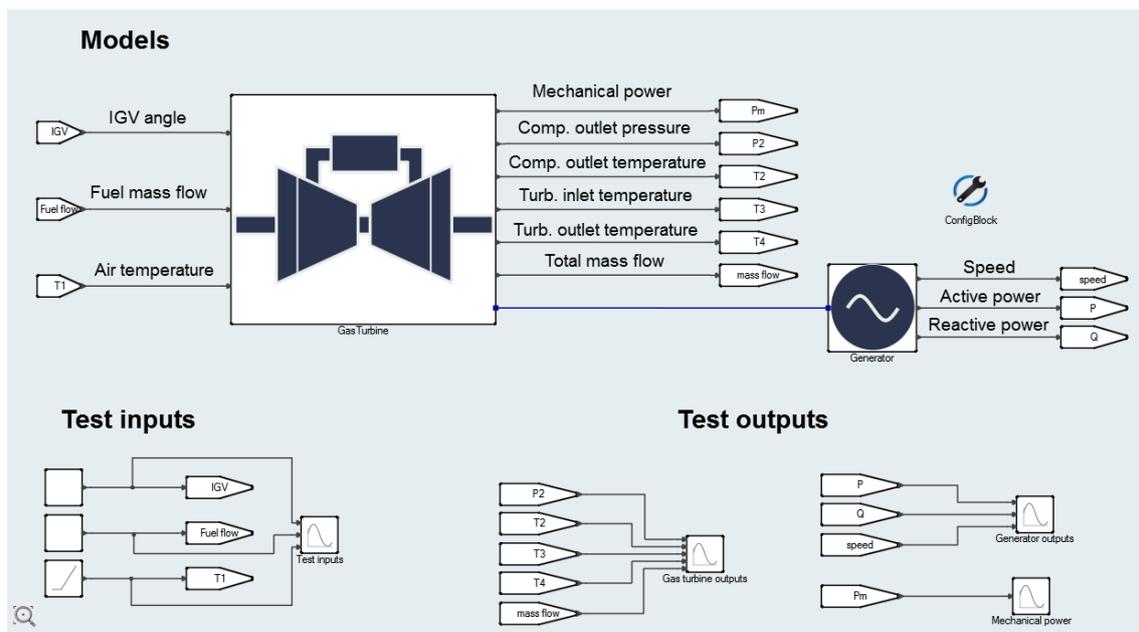


Figura 2 – Modelo geral para o exemplo da turbina a gás

Nesse diagrama, o recurso de superblocos foi usado para isolar as partes referentes a turbina a gás (montada com blocos da SIMple® Thermal) e a parte referente ao gerador (modelada com blocos da SIMple® Power Systems). Na parte inferior do modelo, estão a relação de *Inputs* e *Outputs* do sistema. Para esse estudo, o ângulo do IGV, a vazão de combustível e a temperatura de entrada do ar nos compressores serão variados.

Explorando em maiores detalhes o bloco da turbina a gás, mostrado na Figura 3, podemos ver que esta foi modelada utilizando-se três blocos *GasTurbineCompressor* (simulando três estágios de compressão), um bloco *Combustor*, representando um combustor da turbina, e quatro blocos *GasTurbine* responsáveis por representar quatro estágios de expansão de uma turbina a gás. Os compressores e as turbinas são ligados mecanicamente entre si e a um eixo, tal como o feito no [estudo de caso da turbina a vapor](#).

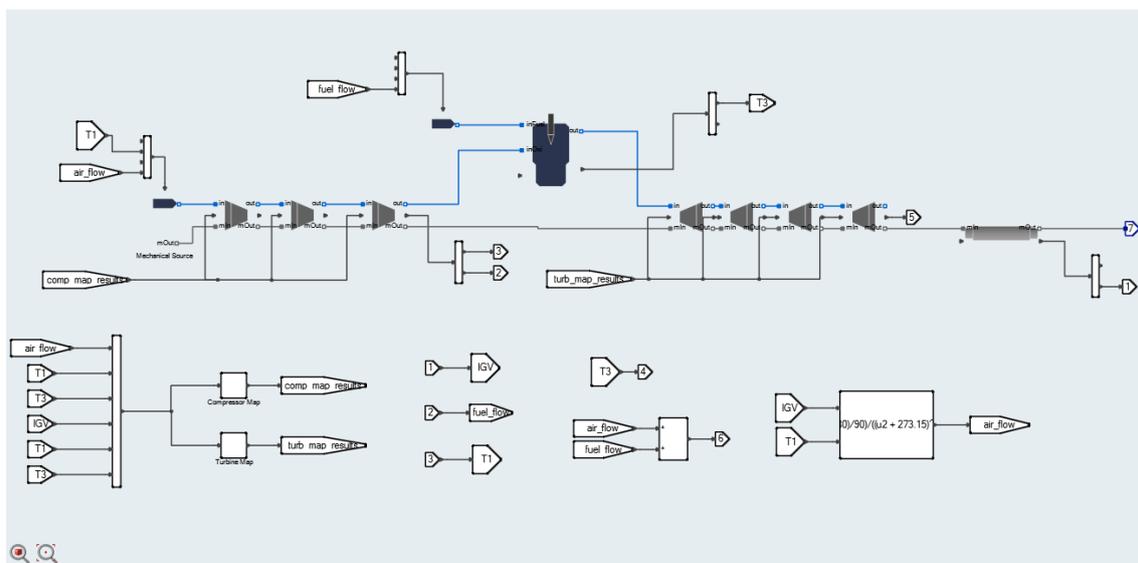


Figura 3 – Esquema da turbina a gás montada com blocos SIMple® Thermal

Tanto o bloco *Source* utilizado para o ar quanto o bloco *Source* utilizado para o combustível são utilizados para impor a vazão mássica do fluido. O combustível utilizado é o metano ( $\text{CH}_4$ ) e é definido pela opção '*gas*' de fluido disponível na SIMple®. Essa opção, mostrada na Figura 4, permite ao usuário definir um fluido gasoso composto por qualquer proporção volumétrica de 24 diferentes componentes, incluindo hidrocarbonetos, componentes do ar e gases comuns em processos industriais.

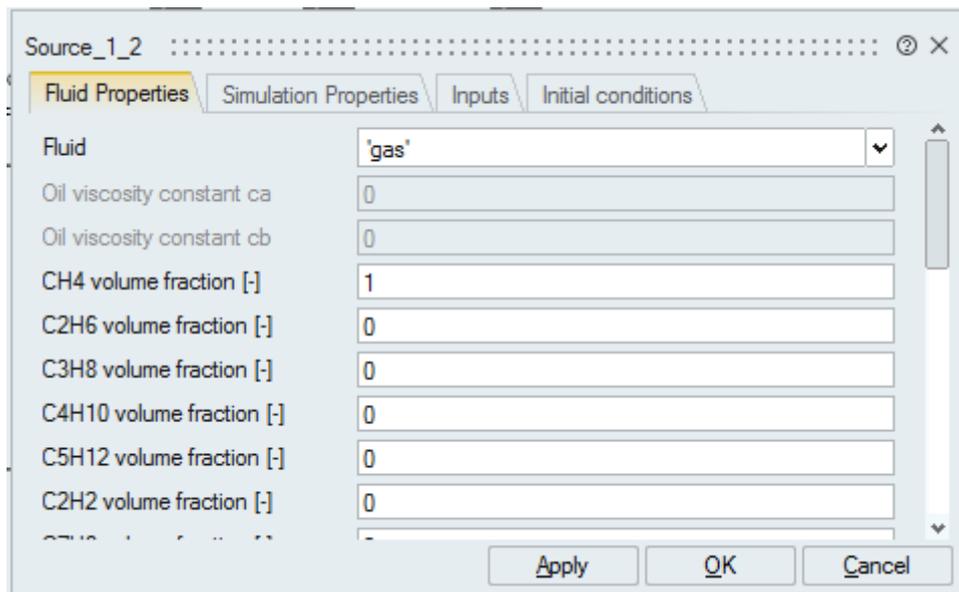


Figura 4 – Definição do metano na opção 'gas'

As turbinas e compressores do modelo podem receber entradas oriundas de um mapa, ou seja, podem ter sua razão de compressão e sua eficiência calculadas a partir de parâmetros de entrada e saídas de sua operação. No caso, esse mapa foi implementado usando blocos nativos do Activate™ e encontra-se na parte de baixo do diagrama da turbina (Figura 3).

Olhando agora para o diagrama do gerador, montado com blocos SIMple® Power Systems, podemos ver que este consiste em uma versão simplificada do diagrama elétrico do [estudo de caso da turbina a vapor](#), onde não há consumos oriundos da planta e o gerador apenas se liga ao eixo por uma porta mecânica e à rede elétrica por intermédio de um transformador. O diagrama do gerador completo é apresentado na Figura 5.

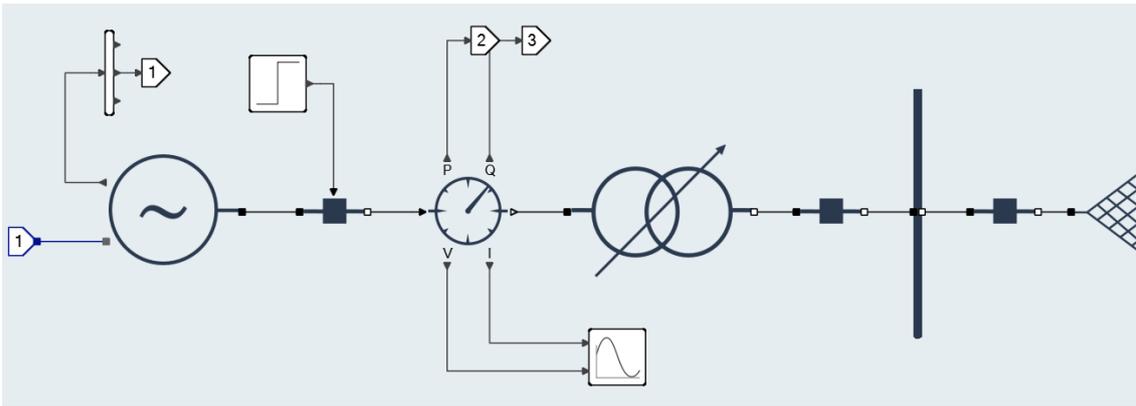


Figura 5 – Esquema do gerador montado com blocos SIMPLER Power Systems

## Resultados

Os *inputs* fornecidos ao sistema são mostrados na Figura 6.

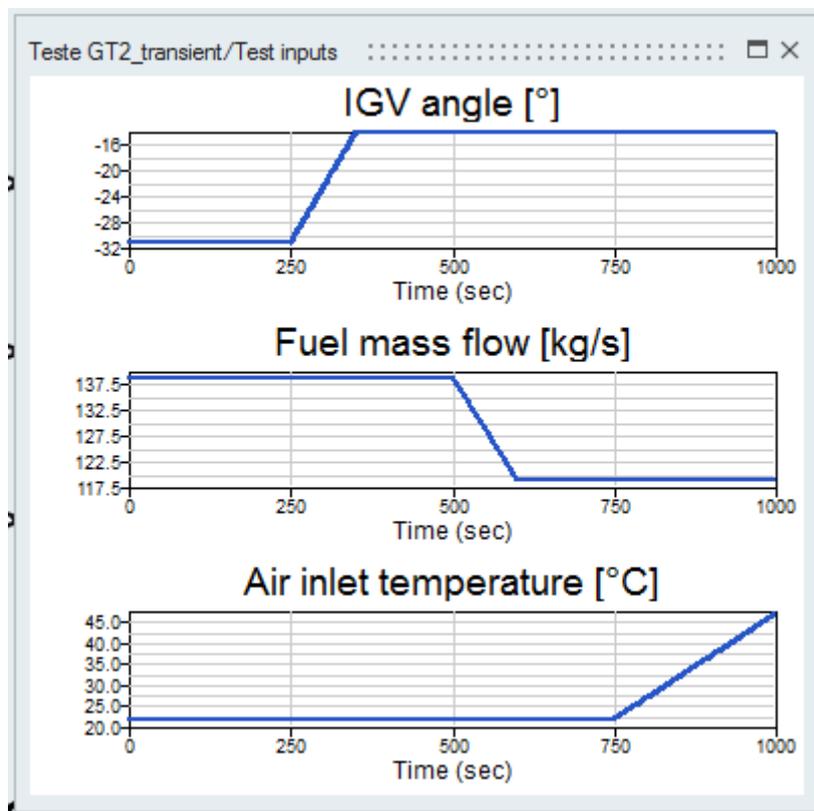


Figura 6 – Inputs dados ao modelo

A principal grandeza a ser avaliada nesse sistema é a potência fornecida pela turbina, mostrado na Figura 7. Nota-se que todos os controles feitos afetaram a potência final fornecida, algo que já era esperado. Observando com mais cautela, pode-se ver que a redução na vazão mássica de combustível gerou uma queda brusca da potência, algo já esperado, uma vez que isso significa uma redução da energia fornecida para o ar comprimido no combustor. Além disso, o aumento da temperatura de admissão do ar causou efeito semelhante, algo fisicamente plausível uma vez que, para gases mais quentes, o esforço para sua compressão é maior, de modo que o compressor demanda uma maior potência para manter a vazão mássica. Por fim, vê-se que o aumento do IGV causou um aumento da potência produzida pela turbina. Não é fácil prever o comportamento da potência frente ao IGV, uma vez que isso varia muito de equipamento para equipamento, porém, de forma qualitativa, é possível imaginar a abertura do IGV como uma redução da obstrução do ar ao entrar na turbina. Isso causa uma maior pressão na admissão, o que por sua vez causa maior pressão na câmara de combustão e na entrada das turbinas, aumentando a eficiência da máquina térmica, logo sua potência gerada.

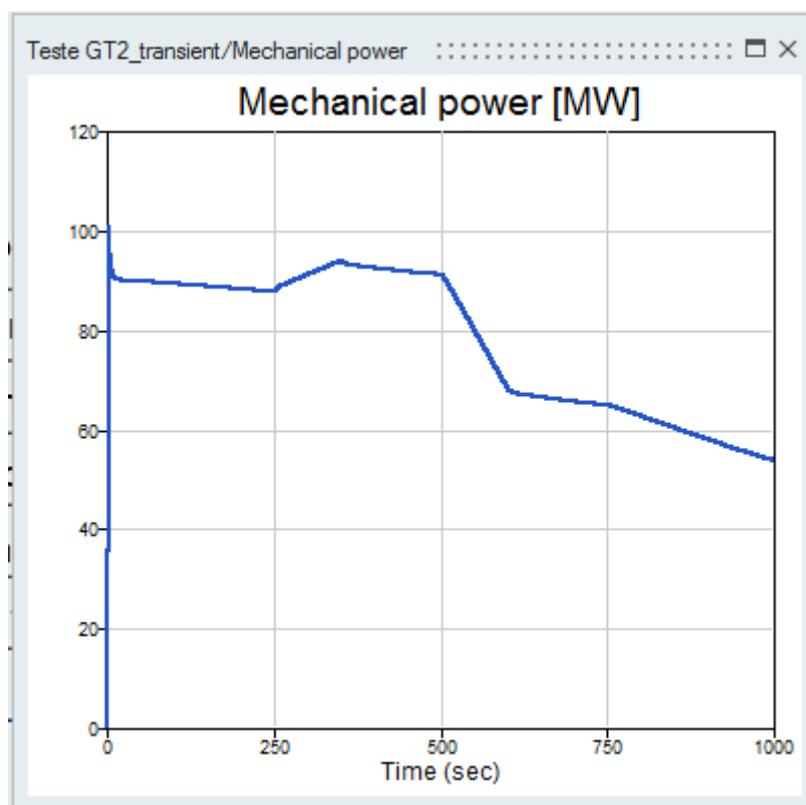


Figura 7 – Potência mecânica fornecida pela turbina

Por fim, a confirmação da integração com o modelo elétrico do gerador será feita analisando-se as saídas do equipamento elétrico, mostradas na Figura 8. Pode-se ver que as potências ativa e reativa seguem a tendência da potência gerada pela turbina, sendo inclusive a potência ativa igual a potência mecânica gerada, como é esperado. A velocidade de rotação mantém-se constante e igual a 3600 rpm, o que também é um resultado físico esperado, uma vez que o gerador encontra-se ligado a uma rede elétrica cuja frequência é 60 Hz, o que o força a manter a sua velocidade de rotação constante (vale ressaltar que o gerador simulado era de dois polos, de modo que sua velocidade de rotação em uma rede de 60 Hz deve ser igual a 3600 rpm).

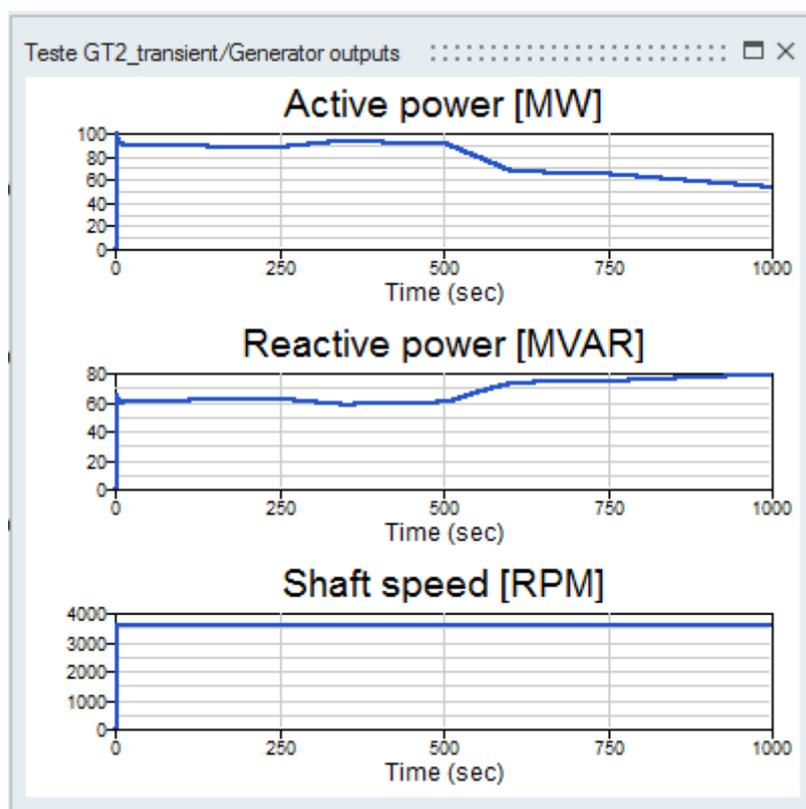


Figura 8 – Saídas do bloco do gerador

## Conclusões

Nesse exemplo foi mostrado como construir uma turbina a gás a partir de blocos fundamentais da biblioteca SIMple®, tal como integrá-la com um modelo de gerador de dois polos ligado a rede. Vê-se pelos resultados obtidos que, além de apresentar alta fidelidade a física do problema, com respostas adequadas e fisicamente plausíveis a todas as alterações de entradas feitas na simulação, a biblioteca é capaz de integrar diversos domínios com segurança e simplicidade. O uso de blocos nativos para a criação do mapa dos equipamentos demonstra, mais uma vez, o quão bem integrada a biblioteca já se encontra da plataforma Altair Activate™ em que se encontra, permitindo ao usuário já acostumado com a plataforma ou plataformas similares utilizar seus modelos com facilidade, executando mesmo tarefas que poderiam ser complexas dentro de uma interface de fácil domínio e amigável.

## Veja também

[Estudo de caso – SIMple®: Simulação de uma turbina a vapor integrada a gerador conectado à rede](#)