



# ELABORAÇÃO DE UM PLANO PARA INSTALAÇÃO DA TURBINA A GÁS SOLAR TAURUS 60

**SOUZA, Eleno Ribeiro de<sup>1</sup> ; MONTEIRO, Bruno de Sousa<sup>2</sup> GALLO,  
Daniel Passos<sup>3</sup>**

## Resumo

A instalação dos equipamentos rotativos industriais é de suma importância, visto que é um fator que, aliado a um bom planejamento de manutenção, determina a confiabilidade e a disponibilidade dos maquinários. A turbina a gás é um equipamento rotativo que é extensivamente utilizado no ramo da geração de energia. Diante disso, a instalação da turbina a gás requer um procedimento que deve ser executado rigorosamente, devido à disponibilidade da turbina impactar diretamente na produção. O artigo tem como objetivo identificar e analisar as atividades que compõem a instalação da turbina a gás modelo Solar Taurus 60, assim como registrar as ações mais críticas contidas no procedimento para instalação da referida turbina. As metodologias utilizadas na elaboração do artigo foram a pesquisa de campo, e pesquisas bibliográficas realizadas nas bases de dados do Google Acadêmico e SciELO para encontrar artigos e revisões bibliográficas nos idiomas português e inglês, sem restrição quanto ao período de publicação, que retratam e evidenciam a instalação da turbina a gás. A pesquisa de campo foi realizada em uma empresa localizada em Macaé, no interior do estado do Rio de Janeiro, cujo parque industrial possui nove turbinas a gás. Doze etapas contemplam o processo de instalação da turbina a gás Solar Taurus 60, dentre as quais podem ser citadas a boroscopia e o alinhamento, etapas extremamente delicadas e técnicas. A

<sup>1</sup> Discente; Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, eleno.souza@yahoo.com.com.br

<sup>2</sup> Discente; Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, bruno\_yves@hotmail.com

<sup>3</sup> Docente Mestre; Centro Universitário Redentor, Engenharia Mecânica, Itaperuna-RJ, daniel.gallo@uniredentor.edu.br



turbina apresenta boa confiabilidade de disponibilidade quando instalada de acordo com o procedimento que foi objeto de estudo do presente trabalho.

Palavras-chave: confiabilidade. disponibilidade. instalação. turbina a gás.

## Abstract

The installation of industrial rotating equipments is extremely important, since it is a determinant factor, in combination with an adequate maintenance planning, for machine availability and reliability. The gas turbine is a rotating equipment which is extensively used in power generation area. The installation of gas turbine requires a strictly executed procedure because the equipment's availability affects directly in production. This article aims to identify and analyze activities that make up the installation process of Solar Taurus 60 gas turbine. Methodology used for preparing this article consists of field research and bibliographic searches carried out in Google Scholar and Scielo websites to find articles and bibliographic reviews in Portuguese and English, with no restriction of publication date. The field research was performed in a company located in Macaé, in the countryside of Rio de Janeiro state, whose plant has nine gas turbines. Twelve steps have to be followed for the of Solar Taurus 60 gas turbine installation to be concluded. Boroscopy and alignment processes, extremely delicate steps, are included in this process. The installed turbine presents acceptable levels of reliability and availability when installed according to procedures presented in this work.

Keywords: reliability. availability. installation. gas turbine.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente o gás natural proveniente das reservas de petróleo é considerado uma energia de transição para as energias renováveis que comparado com outros combustíveis fósseis produzem menos poluentes (HAGE, 2020).

Constata-se que em muitos países, sobretudo o Brasil, atualmente o gás natural é cerca de 25% do consumo de energia primária, mas com taxas de crescimento superiores a 8% ao ano. Sendo assim, para as empresas inseridas nesse ambiente, a transição para o gás natural tem especial relevância em sua competitividade, onde a disponibilidade dos equipamentos rotativos industriais (compressores, bombas centrífugas, turbina a gás) passaram a ser estratégicos para a sobrevivência das empresas, sendo exigido adaptar-se as novas exigências de desempenho e disponibilidade (EPE, 2007).

Diante desta realidade, observa-se a importância e criticidade no momento da instalação da turbina a gás, pois se o equipamento for instalado de acordo com o procedimento e dentro das tolerâncias permitidas pelo fabricante, isso impactará na confiabilidade e disponibilidade da turbina a gás. Futuramente, isso evitará problemas como aumento da vibração, elevação da temperatura, desgaste precoce de peças e redução da disponibilidade, esses fatores poderão afetar a capacidade produtiva da turbina a gás.

Este artigo limita-se a estudar e analisar a instalação da turbina a gás modelo Solar Taurus 60, com intuito de evidenciar conhecimento teórico e prático das atividades de instalação exercidas na turbina a gás modelo Solar Taurus. O propósito geral desta pesquisa é estudar e analisar as atividades contidas no procedimento para instalação da turbina a gás modelo Solar Taurus 60. Assim, o objetivo específico é detalhar as ações mais críticas no roteiro a ser seguido para realizar a instalação da turbina a gás modelo Solar Taurus, como a boroscopia, alinhamento e balanceamento da turbina.

Justifica-se a realização desse presente trabalho a extrema importância que a instalação da turbina gás assume perante o sistema de produção de energia onde o grande desafio atualmente é encontrar uma forma de avaliar e reagir aos indícios das falhas, de maneira que a velocidade de resposta e os custos sejam minimizados. Portanto, o estudo da instalação da turbina a gás é de suma importância para base de conhecimento a ser utilizada pelas empresas que buscam excelência no seu processo de produção de energia de transição para energias renováveis. Quando se trata de geração de energia existe um alto custo envolvido e o desafio é tornar o equipamento mais confiável e ter uma maior disponibilidade.



Neste cenário, a turbina a gás é amplamente empregada como acionador primário de máquinas rotativas em sistemas de geração de energia petrolífera (EPE, 2020). A turbina a gás é grandemente utilizada no ramo de geração de energia, de acordo com Boyce (2002), ela é definida como uma máquina térmica, onde a energia potencial termodinâmica contida nos gases quentes provenientes de uma combustão é convertida em trabalho mecânico, que pode ser convertido em energia elétrica.

As metodologias trabalhadas na elaboração deste artigo foram pesquisas bibliográficas realizadas nas bases de dados do SciELO e Google Acadêmico para encontrar artigos e revisões bibliográficas nos idiomas português e inglês, sem restrição quanto ao período de publicação que retratam e evidenciam a manutenção preventiva e preditiva na turbina a gás. A pesquisa de campo foi efetuada sobre a instalação da turbina a gás modelo Solar Taurus 60. Inicialmente, foi pesquisada a importância, definição e objetivos tanto da turbina a gás como das atividades realizadas na instalação da turbina a gás.

A empresa estudada atua no ramo de gás e energia, situada na cidade de Macaé no estado do Rio de Janeiro, apresenta em seu parque industrial nove turbinas a gás que possuem a função de acionar mecanicamente os compressores centrífugos, que por sua vez comprimem o gás e enviam para o local de consumo desejado. Atualmente, a empresa trabalha com uma demanda crescente na produção de gás, onde a instalação da turbina é crucial para atender as demandas atuais e os crescentes devido as exigências requeridas no mercado.

## 2 METODOLOGIA

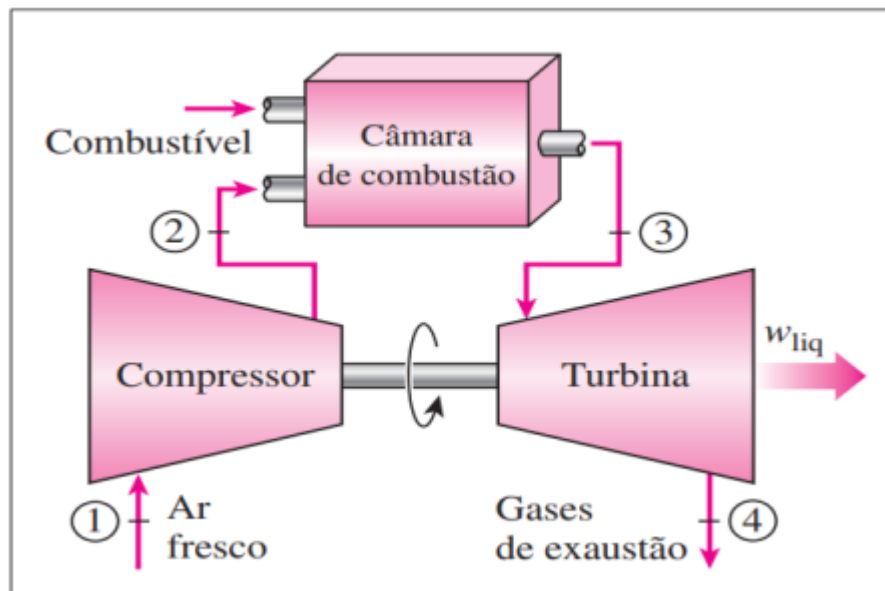
Mais de 95% de todas as turbinas a gás de pequeno e médio porte implantadas em aplicações industriais são baseados no ciclo *Brayton* (BRUN; KURZ, 2019). Segundo (ÇENGEL; BOLES, 2013, p. 507):

O ciclo Brayton foi proposto por George Brayton para ser utilizado no motor alternativo desenvolvido por ele em 1870. Hoje, é apenas usado em turbinas a gás, nas quais os processos de compressão e expansão ocorrem em um maquinário rotativo. Em geral, as turbinas a gás operam em um ciclo aberto... O ar fresco em condições ambientes é admitido no compressor, onde a temperatura e a pressão são elevadas. Daí ar a uma alta pressão entra na câmara de combustão, na qual o combustível é queimado a uma pressão constante. Em seguida, os gases resultantes, a uma alta temperatura, entram na turbina, onde se expandem até a pressão atmosférica enquanto produzem potência. Os gases de exaustão que deixam a turbina são jogados para fora (não recirculam), de forma que o ciclo é classificado como aberto.



Com isso, segue abaixo na figura 1 a ilustração do ciclo de funcionamento da turbina a gás conforme (ÇENGEL; BOLES, 2013).

**Figura 1: Ciclo aberto de operação da turbina a gás**

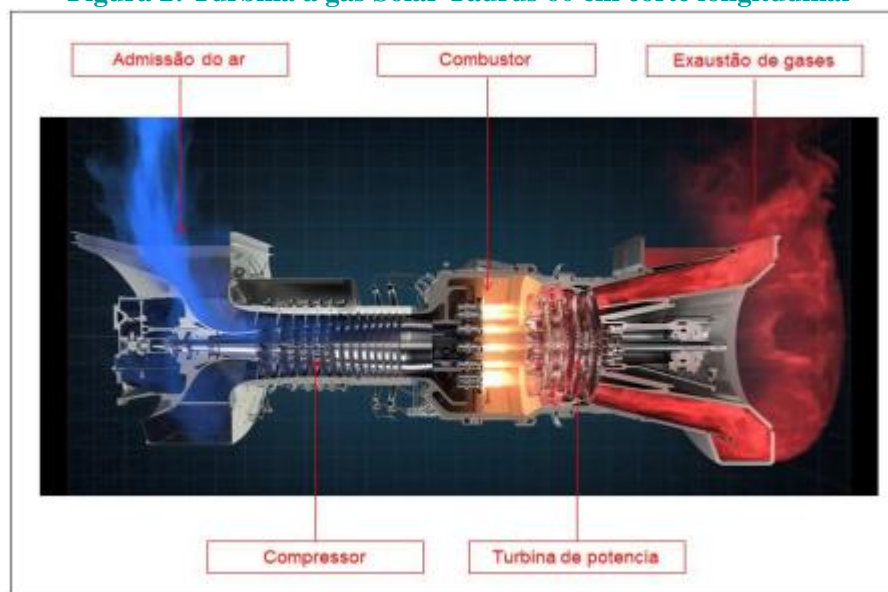


Fonte: Çengel; Boles (2013, não paginado)

A turbina a gás é um equipamento gerador de energia que consegue produzir uma grande quantidade de energia em relação ao seu tamanho e peso (BOYCE, 2002). A turbina a gás é um tipo de motor de combustão interna que trabalha de acordo o ciclo de admissão de ar, elevação de pressão através de um processo de compressão, aumento da temperatura através da combustão, expansão em uma turbina para gerar trabalho de eixo e exaustão. (SIEMENS, 2019).

Portanto, a turbina a gás é um motor que converte o gás natural ou outros combustíveis líquidos em energia mecânica. A turbina a gás é uma combinação de máquina de construção compacta constituída de compressor, câmara de combustão e a turbina propriamente dita, em determinadas ocasiões, mais unidades correspondem a todo um grupo de gerador (BRUN; KURZ, 2019).

Conforme (BRUN; KURZ, 2019), segue na figura 2 abaixo, os principais componentes funcionais da turbina a gás, ou seja, o compressor axial de múltiplos estágios, combustor anular-axial e turbinas de potência axial de múltiplos estágios.

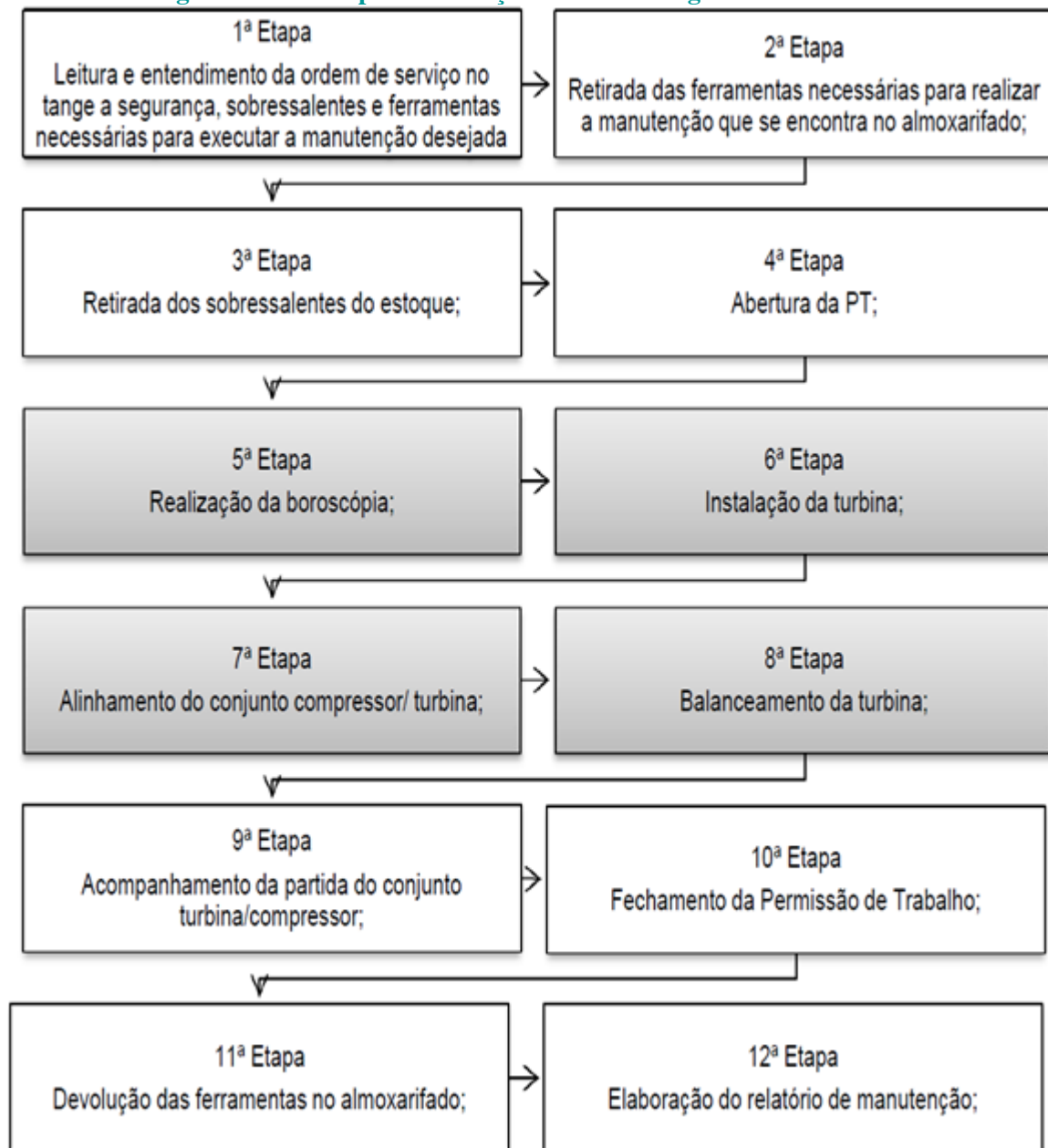

**Figura 2: Turbina a gás Solar Taurus 60 em corte longitudinal**


Fonte: Solar Taurus (2013, não paginado)

De acordo com a figura 2 apresentada anteriormente, o compressor admite o ar exterior e logo comprime e pressuriza as moléculas de ar mediante a uma série de pás estacionárias e giratórias do compressor. O ar comprimido percorre para o combustor ou câmara de combustão. No combustor, o fluido de combustível se mistura com as moléculas de ar pressurizado e se inflamam. Logo após, as moléculas se expandem e se movem em grande velocidade no interior da seção da turbina de potência, que converte o gás em grande velocidade em energia de rotação útil mediante a expansão do gás comprimido coletado através de uma série de pás do rotor da turbina da seção de escape da própria turbina de potência, o gás consumido é retirado e enviado a atmosfera.

O roteiro a ser seguido para a instalação da turbina a gás parte de forma macro, onde as etapas de realização da boroscopia, instalação da turbina e alinhamento do conjunto compressor/turbina terão ênfase. Segue abaixo a figura 3 com as etapas a serem seguidos para instalar a turbina a gás:




**Figura 3: Roteiro para instalação da turbina a gás Solar Taurus 60**


Fonte: Solar Taurus (2013, não paginado)

**1ª Etapa - Leitura e entendimento da ordem de serviço no tange a segurança, sobressalentes e ferramentas necessárias para executar a manutenção desejada**

O supervisor do setor de manutenção mecânica faz um DDS (diálogo diário de segurança) e ao término direciona a ordem de serviço para a equipe de manutenção mecânica que normalmente é composta por dois técnicos.

Com a ordem de serviço em mãos o técnico mais experiente faz a leitura no que tange ao serviço solicitado (instalação da turbina a gás), as práticas de segurança a ser observadas e cumpridas, os sobressalentes e ferramentas determinados para executar a manutenção.



## **2ª Etapa - Retirada das ferramentas necessárias para realizar a manutenção que se encontra no almoxarifado**

As ferramentas necessárias para a instalação das turbinas a gás descritas na ordem de serviço são retiradas no setor denominado ferramentarias. O técnico de manutenção mecânica faz a retirada das ferramentas específicas para a instalação da turbina a gás.

O controle de retirada e devolução é feito inserindo a chave e senha do técnico na tela do programa de controle de retirada e devolução de ferramentas.

## **3ª Etapa - Retirada dos sobressalentes do estoque**

Os sobressalentes necessários para a instalação do equipamento especificado na ordem de serviço são retirados no almoxarifado. O colaborador que realiza a retirada dos sobressalentes assina um termo de responsabilidade e ciência. Esses sobressalentes são filtros (ar, óleo e gasolina) e juntas metálicas.

## **4ª Etapa - Abertura da Permissão de Trabalho (PT)**

A turbina a gás é operada pelo setor da operação. O setor da manutenção antes de realizar a instalação da turbina deve solicitar a abertura da permissão de trabalho ao setor da operação.

A empresa define que a permissão para trabalho é uma autorização dada por escrito, em documento próprio para execução de trabalhos de manutenção, montagem, desmontagem, construção, reparos ou inspeções, de instalações, equipamentos ou sistemas perfeitamente definidos e delimitados a serem realizados nas áreas operacionais das unidades da empresa.

A permissão de trabalho é uma das ferramentas que a empresa aplica na prevenção de acidentes, baseada em critérios de identificação do perigo, avaliação e controle do risco, considerando probabilidade de ocorrência e possíveis consequências.

## **5ª Etapa - Realização da boroscopia**

O boroscópio é um instrumento que contém uma câmera na extremidade de uma sonda, ele possui a capacidade de visualizar e gravar a imagem que a câmera está capturando.

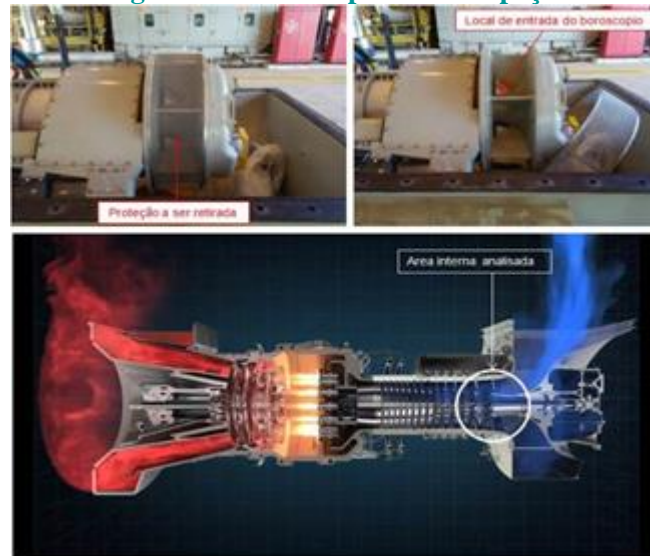
Antes da instalação da turbina a gás é realizado a boroscopia com o objetivo de obter informações rápidas sobre o estado “interno” da turbina a gás sem precisar desmontá-la, ou seja, identificar trincas, peças soltas, corpos estranhos, pontos de corrosão que podem ter ocorridos durante o transporte e armazenamento.

Segue abaixo figuras indicando o local de acesso do boroscópio e o local da turbina a gás que é inspecionado:



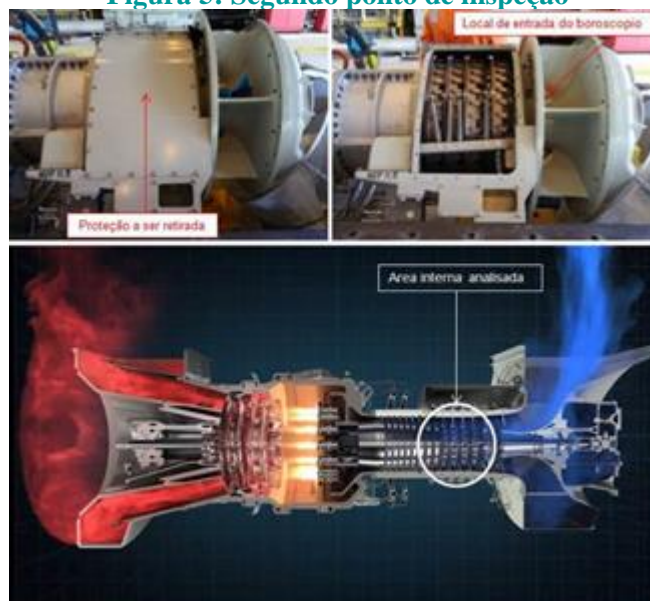


**Figura 4: Primeiro ponto de inspeção**



Fonte: Solar Taurus (2013, não paginado)

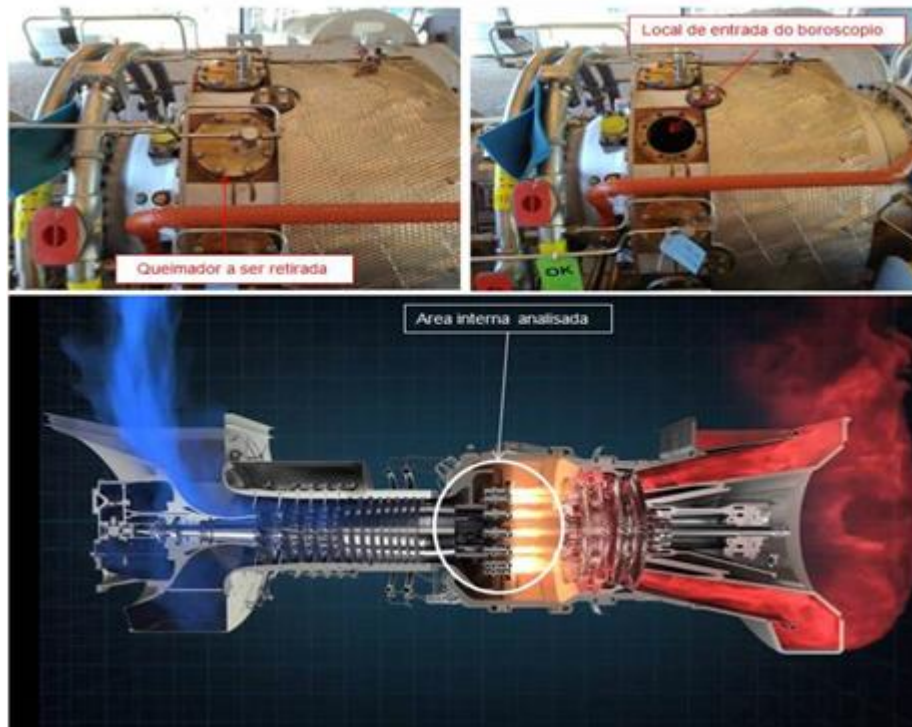
**Figura 5: Segundo ponto de inspeção**



Fonte: Solar Taurus (2013, não paginado)

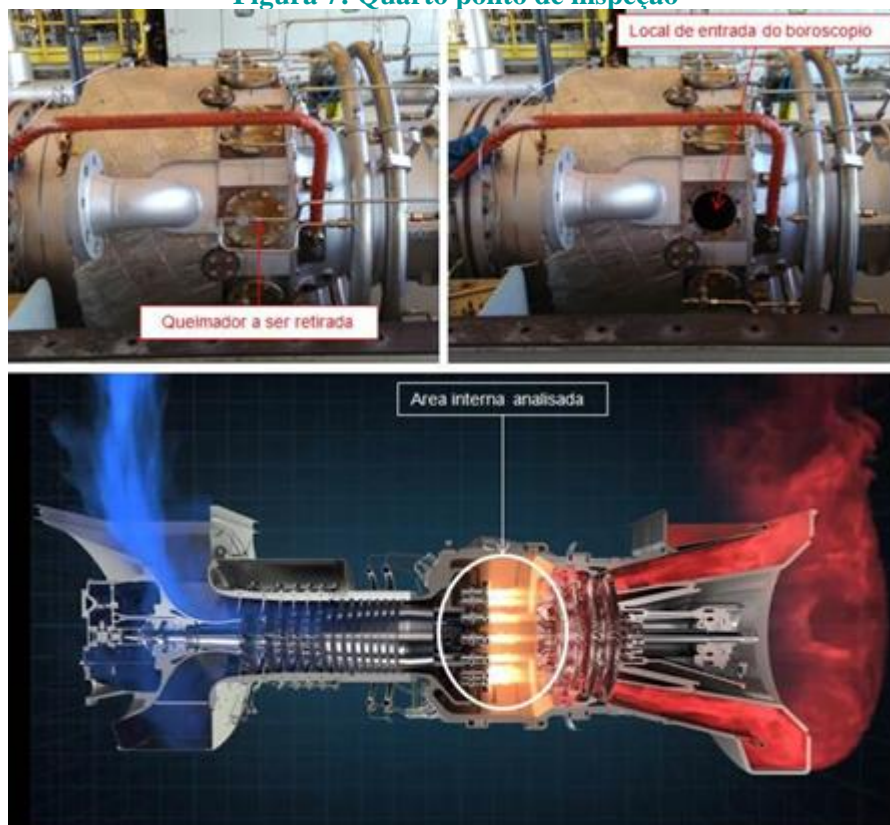


**Figura 6: Terceiro ponto de inspeção**



Fonte: Solar Taurus (2013, não paginado)

**Figura 7: Quarto ponto de inspeção**

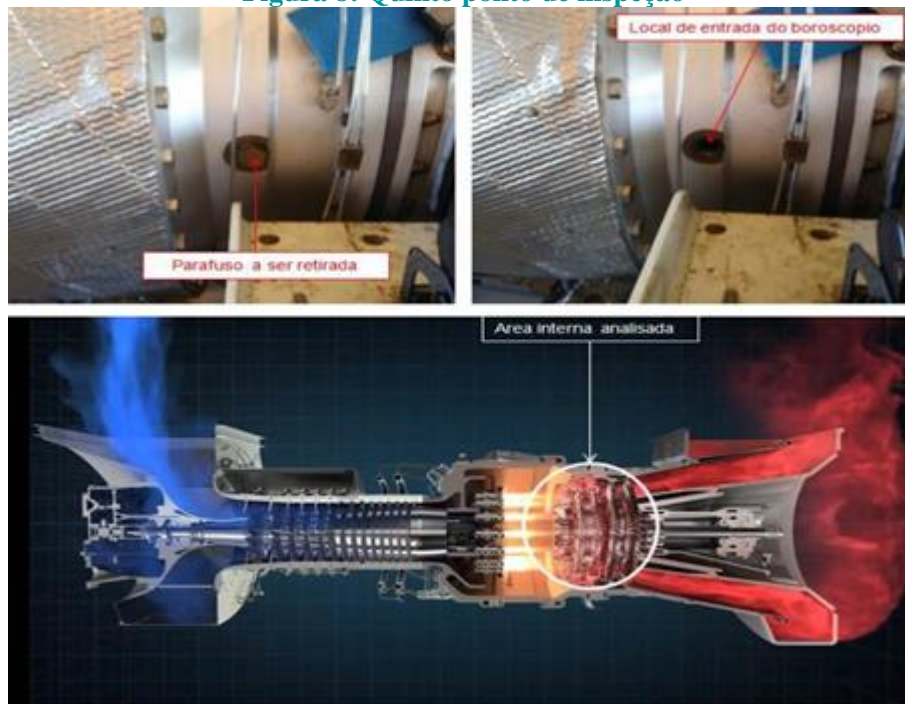


Fonte: Solar Taurus (2013, não paginado)



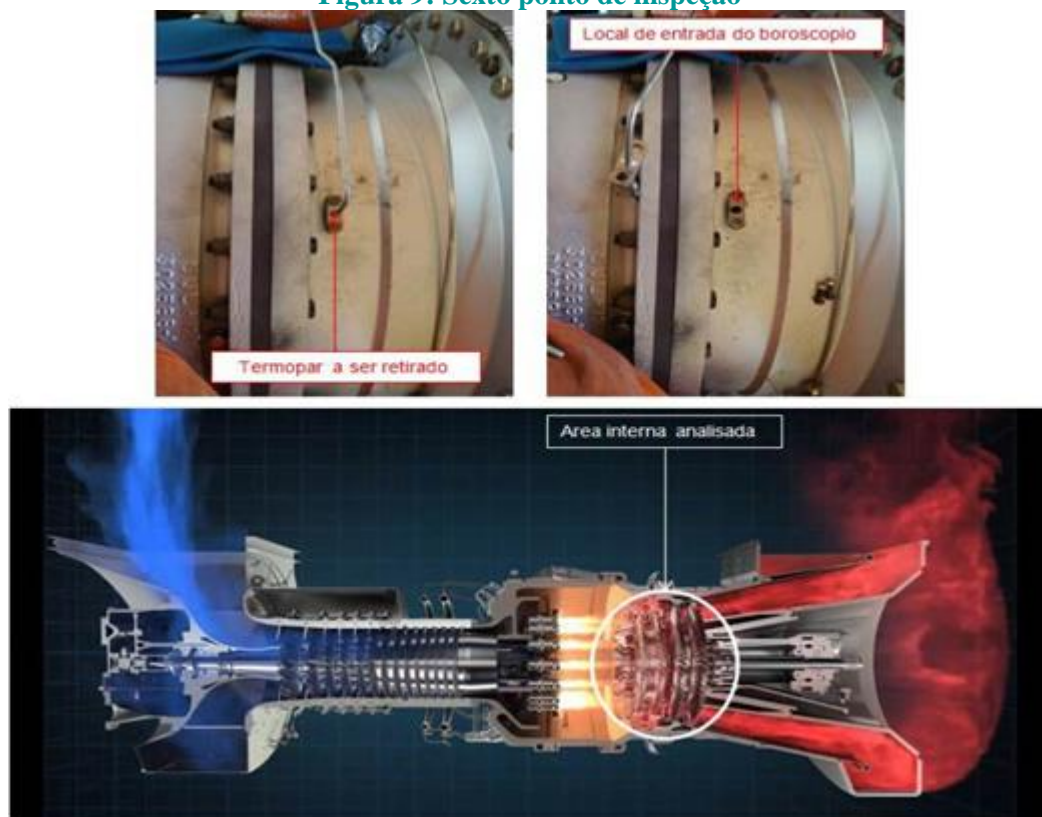


**Figura 8: Quinto ponto de inspeção**

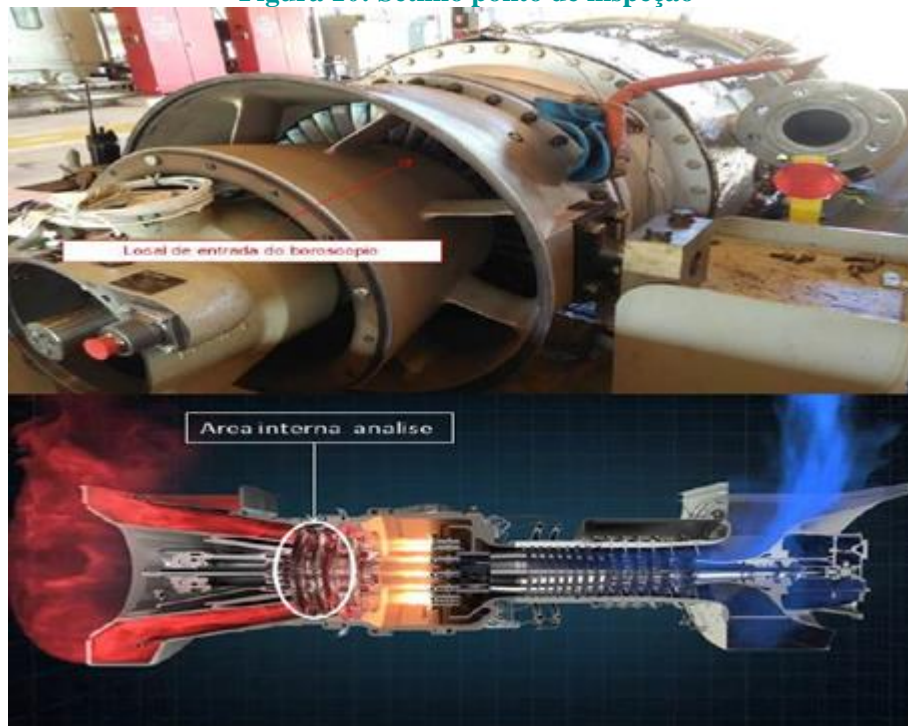


Fonte: Solar Taurus (2013, não paginado)

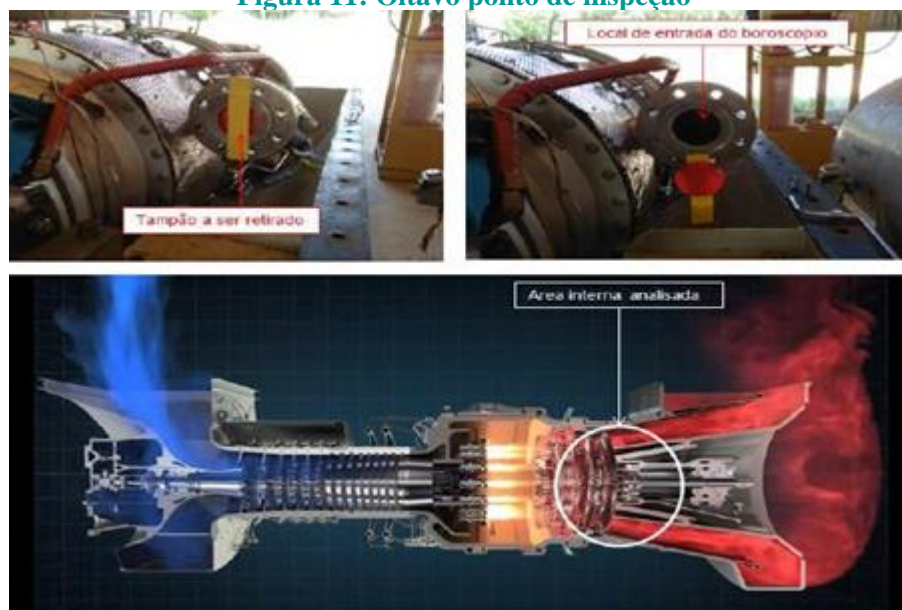
**Figura 9: Sexto ponto de inspeção**



Fonte: Solar Taurus (2013, não paginado)


**Figura 10: Sétimo ponto de inspeção**


Fonte: Solar Taurus (2013, não paginado)

**Figura 11: Oitavo ponto de inspeção**


Fonte: Solar Taurus (2013, não paginado)

### 6ª Etapa - Instalação da turbina

A substituição da turbina é realizada somente com a sinalização da atividade de manutenção preditiva de boroscopia. A instalação da turbina a gás é realizada diretamente



pela equipe da manutenção mecânica com o apoio das equipes de movimentação de carga, instrumentação e automação.

### **7ª Etapa - Alinhamento do conjunto compressor/ turbina**

Com a instalação da turbina finalizada. Inicia-se o alinhamento da turbina a gás com o compressor que tem como objetivos específicos eliminar o desgaste precoce do eixo, controlar os níveis de vibração e aquecimento que podem causar falhas e parada do sistema de produção.

O alinhamento realizado na turbina/compressor é o método axial-radial. Esse método é aplicável em qualquer caso, contudo ele é mais empregado quando existe muita dificuldade em se girar o eixo acionador. Neste caso, o eixo da turbina assim, é necessário seguir a seguinte sequência:

a) verificar a concentricidade do cubo de acoplamento do compressor, e verificar o gap entre a turbina e o compressor:

b) após a verificação e registro da concentricidade, deve-se fixar o suporte dos relógios comparadores, sobre a face (axial) e a superfície do diâmetro interno do alojamento da turbina;

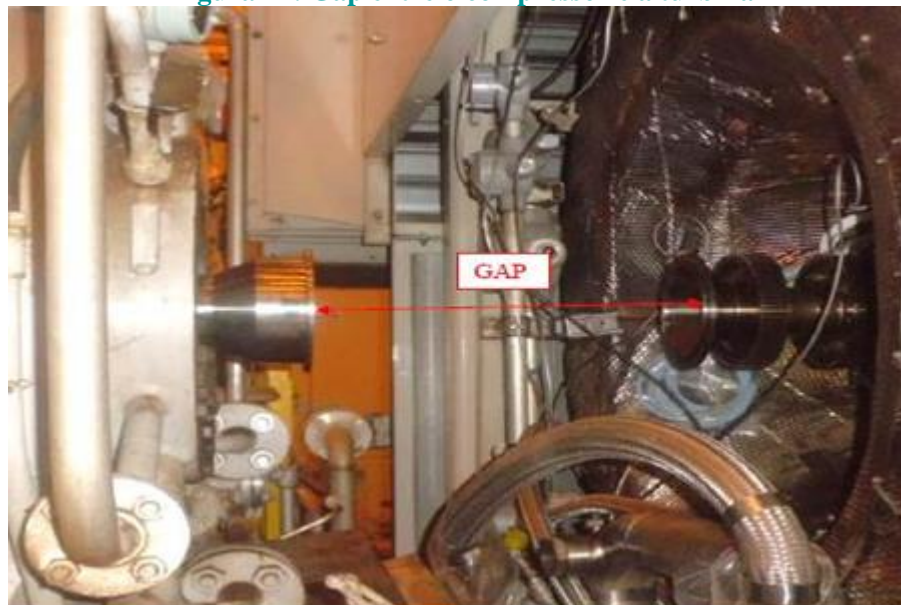
c) somente o eixo do compressor, com o suporte dos relógios comparadores, deve ser girado e as leituras, a cada 90° (12h, 3h, 6h e 9h) de giro, devem ser registradas no formulário específico que se encontra no anexo 1 no final deste manual.

d) inserir as leituras registradas no programa de alinhamento da turbina e verificar se o alinhamento está dentro da tolerância, se não estiver, proceder através do direcionamento do programa.



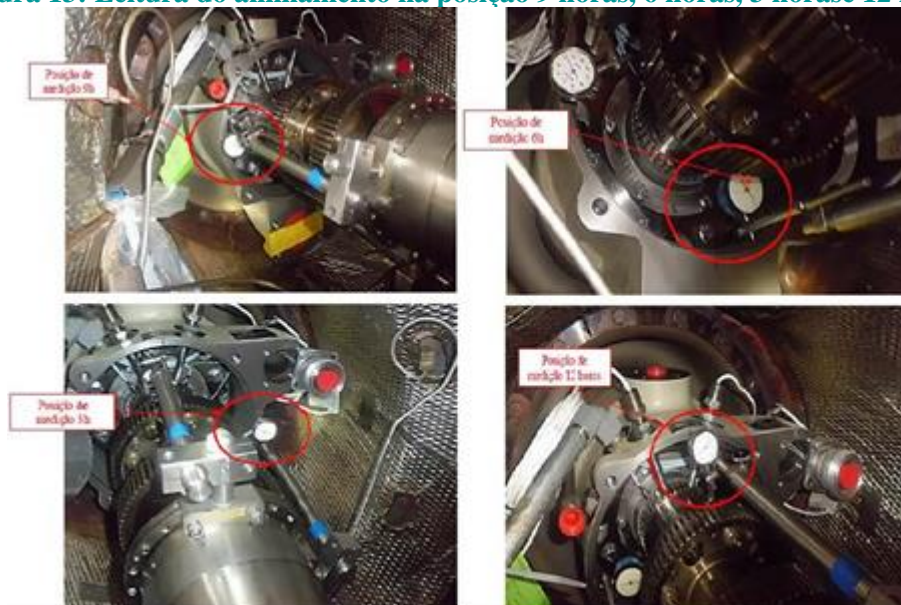
Segue as imagens abaixo que ilustram o alinhamento do conjunto compressor/turbina:

**Figura 12: Gap entre o compressor e a turbina**



Fonte: Objeto de estudo

**Figura 13: Leitura do alinhamento na posição 9 horas, 6 horas, 3 horas e 12 horas**



Fonte: Objeto de estudo

### **8ª Etapa - Balanceamento da turbina a gás**

Com a confirmação do alinhamento da turbina a gás, a engenharia solicita a conferência do balanceamento da turbina a gás. O processo de balanceamento visa corrigir a distribuição de massa em torno do eixo da turbina, mesmo depois de balanceado, o eixo da turbina pode possuir desbalanceamento residual permissível. Com isso, pode ocorrer de não ser necessário balancear a turbina a gás.



### 9ª Etapa - Acompanhamento da partida do conjunto turbina/compressor

Com o propósito de sanar possíveis avarias (vazamento de óleo, vibração elevada e outros) que podem ocorrer durante a partida é aconselhado pela engenharia a finalização do balanceamento da turbina. Solicita-se ao setor da operação a partida do conjunto turbina/compressor.

### 10ª Etapa - Fechamento da Permissão de Trabalho

Realizado o acompanhamento da partida do conjunto turbina/compressor requisita o encerramento da permissão de trabalho ao setor da operação.

### 11ª Etapa - Devolução das ferramentas no almoxarifado

O técnico de manutenção mecânica que retirou as ferramentas necessárias para a instalação das turbinas a gás no setor ferramentarias deverá devolve-las e o almoxarife confirmar a devolução no programa de controle de retirada e devolução de ferramentas.

### 12ª Etapa – Preenchimento do relatório de manutenção

Os técnicos de manutenção mecânica descrevem as atividades realizados diariamente na instalação da turbina a gás. Relata os valores de tolerância deixados do alinhamento da turbina/compressor. Cita os sobressalentes substituído e devolvidos.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados esperados na instalação da turbina a gás podem ser divididos em duas etapas. Na primeira etapa onde é realizado a boroscopia é esperado que o estado da turbina a gás não apresente oxidações em estado elevado, sujidades, trincas, peças soltas ou danos aparentes que impeça a sua operação.

Na segunda etapa onde é realizado o alinhamento da turbina a gás, pois um dos problemas mais críticos que atingem a turbinas a gás é o desalinhamento dos eixos da própria turbina a gás com o compressor centrifugo, e dependendo do grau de desalinhamento, poderá sofrer desgaste precoce nos rolamentos, desgaste do eixo, vibração elevada, aquecimento, podendo causar falhas e parada do sistema de produção (PACHOLOK, 2004).

Com isso, o resultado esperado é que os valores do alinhamento estejam dentro das tolerâncias recomendadas pelo fabricante. Conforme dados contidos na tabela 1 abaixo:

**Tabela 1: Valores de tolerâncias do alinhamento da turbina a gás**

POSIÇÃO VERTICAL	VALOR DA TOLERÂNCIA
12	0
3	Intervalo entre -.002” a +.002”


**Tabela 1: Valores de tolerâncias do alinhamento da turbina a gás**

(conclusão)

POSIÇÃO VERTICAL	VALOR DA TOLERÂNCIA
6	Intervalo entre $-.003''$ a $+.003''$
9	Intervalo entre $-.002''$ a $+.002''$
POSIÇÃO VERTICAL	VALOR DA TOLERÂNCIA
12	0
3	Intervalo entre $-.048''$ a $+.052''$
6	Intervalo entre $-.095''$ a $+.105''$
9	Intervalo entre $-.048''$ a $+.052''$

Fonte: Solar Taurus (2013, não paginado)

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É evidente que a turbina a gás é um equipamento que se tornou fundamental no ramo da geração de energia, portanto é de imensa importância seguir os procedimentos e ser imutável nas etapas da instalação desse maquinário, para que problemas como excesso de vibração, aquecimento e desgastes precoce sejam evitados. Com isso o risco de haver manutenções não planejadas será minimizado, a turbina a gás terá uma boa disponibilidade e confiabilidade devido a instalação da turbina está plenamente baseada nos procedimentos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5462**: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

BOYCE, M. P. **Gas turbine engineering handbook**. 2. ed. Woburn: Gulf Professional Publishing, 2002.

BRASIL. **Matriz energética e elétrica**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 20 nov. 2020.

BRUN, K.; KURZ, R. **Introduction to gas turbine theory**. 3. ed. [S.L.]: Editora Solar Turbines Incorporated, 2019.

ÇENGEL, Y. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE–Empresa. Plano nacional de energia 2030. Ministério de Minas e Energia: Brasília, Brazil, 2007.

FILHO, G. B. **Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2006.



HAGE, J. A. A. **Política energética no Brasil**: sua participação no desenvolvimento e no relacionamento internacional. [S.L.]: Editora Appris, 2020.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção-função estratégica**. [S.L.]: Qualitymark Editora Ltda, 2007.

PACHOLOK, M. **Uso da termografia para avaliação do desalinhamento de eixos de máquinas rotativas**: uma ferramenta auxiliar à análise de vibrações. [S.L.]: [S.n.], 2004.



**EDIÇÃO ESPECIAL**

Pandemia

**COMO CITAR ESTE ARTIGO**

**ABNT:** SOUZA, E. R.; MONTEIRO, B. S.; GALLO, D. P.  
Elaboração de um plano para instalação da turbina a gás solar taurus 60.  
**Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico**, Itaperuna, v.  
06, n. 3, p. 1-18. 2020. DOI: 10.209512446-6778v6n3a57.

**AUTOR CORRESPONDENTE**

Nome completo: Eleno Ribeiro de Souza  
e-mail: eleno.souza@yahoo.com.com.br  
Nome completo: Bruno de Sousa Monteiro  
e-mail: bruno\_yves@hotmail.com  
Nome completo: Daniel Passos Gallo  
e-mail: daniel.gallo@uniredentor.edu.br

**RECEBIDO**

20. 07. 2020.

**ACEITO**

20. 12. 2020.

**PUBLICADO**

01. 11. 2021.

**TIPO DE DOCUMENTO**

Artigo Original