

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Faculdade de Engenharia — Campus de Ilha Solteira

Curso de Graduação em Engenharia Mecânica

PEDRO LUCAS COELHO E SILVA

**ANÁLISE DE CUSTOS EM SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO
DE TURBINAS A VAPOR**

Ilha Solteira — SP

2026

PEDRO LUCAS COELHO E SILVA

**ANÁLISE DE CUSTOS EM SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO
DE TURBINAS A VAPOR**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Ângelo Menezes

Ilha Solteira — SP

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- C672a Coelho e Silva, Pedro Lucas.
Análise de custos em serviços de manutenção de turbinas a vapor / Pedro Lucas Coelho e Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
37 f.
- Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2026
- Orientador: Miguel Ângelo Menezes
- Inclui bibliografia
1. Engenharia de custos. 2. Manutenção industrial. 3. Turbinas vapor. 4. Curva ABC. 5. Gerenciamento de projetos.

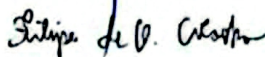
ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos 18 dias do mês de Junho do ano de dois mil e vinte e seis, as 18h30min, por videoconferência, no Departamento de Engenharia Mecânica, do Campus da UNESP, da Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira, o discente **Pedro Lucas Coelho e Silva**, matriculado sob o número 191051101, tendo como banca examinadora, o orientador Prof. Ph.D. Miguel Ângelo Menezes, o Engenheiro Mecânico Filipe de Oliveira Ataoka (Siemens Energy) e o Engenheiro Mecânico Gustavo Marques Pereira (Siemens Energy) apresentou o Trabalho de Graduação intitulado: “*Análise de Custos em Serviços de Manutenção de Turbinas a Vapor*”, obtendo o CONCEITO: Aprovado e a nota final 10,0 (Dez).

Por ser verdade, os membros da banca examinadora e o discente assinam em seguida.



Prof. Ph.D. Miguel Ângelo Menezes (Orientador)



Eng. Mec. Filipe de Oliveira Ataoka (Siemens Energy)

Pereira Gustavo
Marques

Digitally signed by Pereira Gustavo
Marques
DN: cn=Pereira Gustavo Marques,
o=Siemens,
email=gustavo.pereira@siemens-
energy.com
Date: 2020.06.17 16:20:51 -03'00'

Eng. Mec. Gustavo Marques Pereira (Siemens Energy)



Pedro Lucas Coelho e Silva (Discente)

DEDICATÓRIA

A Deus, fonte de toda a sabedoria, e à minha família, alicerce de tudo o que sou e tudo o que conquistei.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por iluminar cada decisão e sustentar cada passo dado ao longo desta jornada.

Aos meus pais e à minha irmã, base do meu caráter e da minha persistência, e a minha esposa, companheira em cada desafio enfrentado durante a graduação. A minha família estendida, agradeço pela confiança inabalável, mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos amigos que se tornaram irmãos durante os anos vividos em Ilha Solteira, a turma 19/1, a Precisão Engenharia e, em especial, a família REPTENTE — junto deles enfrentei alguns dos maiores desafios desta etapa, e sem eles a vitória não teria sido possível.

Agradeço, em especial, a Matheus de Brito Gregolis, César Augusto Correa, João Victor Durço Ferraz, Danilo Albuquerque, Marcos Augusto Gueish Pires e Hugo Martins Petrone, pelo companheirismo e pela amizade verdadeira.

Ao orientador, Prof. Dr. Miguel Ângelo Menezes, pela paciência, pelo direcionamento criterioso e pela confiança depositada neste trabalho.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP) e a todos os docentes que contribuíram para minha formação, agradeço pelo conhecimento técnico e humano transmitido ao longo desses anos.

*“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder
o entusiasmo.”*

Winston Churchill

RESUMO

A busca por eficiência técnica e econômica é um dos principais desafios das empresas que prestam serviços de manutenção industrial em equipamentos críticos. Este trabalho tem como objetivo analisar e comparar os custos orçados e os custos efetivamente executados em serviços de manutenção de turbinas a vapor, avaliar as práticas de gestão associadas e propor melhorias nos processos de orçamento e controle de custos. Trata-se de pesquisa de natureza aplicada e de caráter descritivo, fundamentada em estudo de caso de uma empresa de engenharia. O método compreendeu coleta de dados técnicos e financeiros, tratados de forma confidencial mediante a substituição de valores monetários absolutos por índices normalizados e percentuais relativos. A análise comparou custos previstos e realizados em duas etapas sucessivas — análise preliminar e reparo do rotor de uma turbina de 29,05 MW —, fundamentada em conceitos de engenharia de custos, gestão de manutenção e boas práticas de gerenciamento de projetos segundo o Guia PMBOK®, complementadas pela aplicação da Curva ABC. Os resultados indicam que os desvios entre orçamento e execução decorrem majoritariamente de variações de produtividade da mão de obra, atrasos de fornecimento e ajustes técnicos durante a intervenção, com variação de até 35,5% na rubrica de mão de obra na análise preliminar. Como contribuição, propõe-se um modelo analítico baseado em índices relativos e na Curva ABC, replicável a outros projetos de manutenção industrial sujeitos a sigilo comercial. Conclui-se que a integração entre engenharia de custos e gestão da manutenção constitui diferencial estratégico para empresas que operam equipamentos de alta complexidade, favorecendo previsibilidade financeira e competitividade no mercado.

Palavras-chave: Engenharia de custos. Manutenção industrial. Turbinas a vapor. Curva ABC. Gerenciamento de projetos.

ABSTRACT

The pursuit of technical and economic efficiency is one of the main challenges faced by companies providing maintenance services for critical industrial equipment. This study aims to analyze and compare budgeted and actual costs in steam turbine maintenance services, assessing related management practices and proposing improvements in budgeting and cost control processes. The research is applied and descriptive in nature, based on a real-world case study from an engineering company. The method involved collecting technical and financial data, treated confidentially through the replacement of absolute monetary values with normalized indices and relative percentages. The analysis compared estimated and actual costs across two successive stages — a preliminary assessment and the rotor repair of a 29.05 MW steam turbine — supported by cost engineering concepts, maintenance management principles and project management best practices according to the PMBOK® Guide, complemented by ABC analysis. The results indicate that deviations between budgeted and actual costs are mainly associated with labor productivity variations, supply delays and technical adjustments during execution, with the labor cost item varying up to 35.5% during the preliminary assessment. As a contribution, the study proposes an analytical model based on relative indices and ABC analysis, replicable to other industrial maintenance projects subject to commercial confidentiality. It concludes that integrating cost engineering with maintenance management represents a strategic advantage for companies operating complex equipment, fostering greater financial predictability and market competitiveness.

Keywords: Cost engineering. Industrial maintenance. Steam turbines. ABC analysis. Project management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Curva ABC dos custos orçados na análise preliminar	29
Figura 2 — Curva ABC dos custos orçados no reparo do rotor	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Custos orçados para a análise preliminar	28
Tabela 2 — Custos realizados para a análise preliminar	30
Tabela 3 — Comparação entre custos orçados e realizados - análise preliminar	31
Tabela 4 — Custos orçados para o reparo do rotor	33
Tabela 5 — Custos realizados para o reparo do rotor.....	34
Tabela 6 — Comparação entre custos orçados e realizados — reparo do rotor	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACE	<i>Association for the Advancement of Cost Engineering</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BDI	Benefício e Despesas Indiretas
CFD	Custo Fixo Direto
CFI	Custo Fixo Indireto
CVD	Custo Variável Direto
CVI	Custo Variável Indireto
FEIS	Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
LCC	<i>Life Cycle Cost</i> (Custo do Ciclo de Vida)
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i> (Tempo Medio Entre Falhas)
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i> (Tempo Medio para Reparo)
MW	Megawatt
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
UNESP	Universidade Estadual Paulista

LISTA DE SÍMBOLOS

Δ	Variação percentual entre custo realizado e custo orçado
C_orçado	Custo orçado, em índice normalizado
C_real	Custo realizado, em índice normalizado
MW	Unidade de potência (megawatt)

Sumário

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	11
LISTA DE SÍMBOLOS.....	12
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Contextualização: o mercado de turbinas a vapor	16
1.2 Relevância do estudo	17
1.3 Nota de confidencialidade.....	17
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo geral.....	18
2.2 Objetivos específicos	18
3 METODOLOGIA.....	19
3.1 Classificação da pesquisa	19
3.2 Etapas do estudo	19
3.2.1 Revisão bibliográfica	19
3.2.2 Coleta de dados	19
3.2.3 Tratamento e análise dos dados	20
3.2.4 Discussão e recomendações	20
3.3 Procedimentos de análise.....	20
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
4.1 Engenharia de custos	22
4.2 Manutenção industrial e confiabilidade	22
4.3 Gerenciamento de projetos segundo o Guia PMBOK®	23
4.4 Benefício e Despesas Indiretas (BDI)	23
5 ESTUDO DE CASO	25
5.1 Procedimentos metodológicos e origem dos dados	25
5.2 Estrutura de custos	25
5.3 Descrição dos serviços analisados	27
5.3.1 Serviço 1 — Análise preliminar	27
5.3.2 Serviço 2 — Reparo do rotor.....	28
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
6.1 Resultados da análise preliminar.....	31
6.2 Resultados do reparo do rotor	32

6.3 Análise integrada dos dois serviços.....	34
7 CONCLUSÕES	36
7.1 Considerações finais.....	36
7.2 Limitações do estudo	37
7.3 Sugestões para trabalhos futuros	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização: o mercado de turbinas a vapor

No cenário industrial contemporâneo, marcado por elevada exigência de produtividade, competitividade global e crescente cobrança por confiabilidade operacional, as empresas prestadoras de serviços de engenharia enfrentam o desafio permanente de manter equipamentos de alto valor agregado em condições ideais de funcionamento. Entre esses equipamentos, destacam-se as turbinas a vapor, cuja operação envolve altos investimentos de capital e cuja indisponibilidade impacta diretamente a rentabilidade dos processos produtivos. A eficiência operacional desses ativos está intrinsecamente vinculada a gestão criteriosa de custos e mão de obra, componentes que respondem por parcela significativa do custo total das intervenções de manutenção (KARDEC; NASCIF, 2009).

As turbinas a vapor constituem equipamentos estratégicos em plantas de geração termelétrica, em sistemas de cogeração industrial e em unidades petroquímicas, sendo responsáveis pela conversão de energia térmica em energia mecânica com elevados níveis de potência e confiabilidade. Por força de sua criticidade no processo produtivo, falhas nesses equipamentos podem acarretar perdas financeiras expressivas, decorrentes não apenas dos custos diretos de reparo, mas também dos custos indiretos associados a indisponibilidade operacional. Nesse contexto, a análise estruturada dos custos de manutenção transcende a dimensão estritamente contábil e assume caráter estratégico na gestão de ativos industriais.

O controle de custos em serviços de manutenção mecânica é determinante para garantir a sustentabilidade financeira dos contratos. O equilíbrio entre custo orçado e custo executado define a rentabilidade das atividades e a competitividade das empresas no mercado, especialmente em segmentos nos quais a margem de lucro é sensível a variações de produtividade e a desvios de prazo. Conforme aponta Mattos (2006), a precisão da estimativa orçamentária reflete diretamente a maturidade técnica e organizacional da empresa, sendo um dos principais indicadores de competência empresarial em projetos de engenharia.

Diante deste cenário, no presente trabalho propõe-se investigar o processo de gestão de custos aplicado a manutenção de turbinas a vapor, buscando compreender as discrepâncias entre o que é orçado e o que é efetivamente executado, identificar pontos críticos de melhoria e propor ações para aprimorar os processos de orçamentação e controle de custos em ambientes de alta complexidade técnica.

1.2 Relevância do estudo

A relevância deste estudo reside na crescente necessidade de otimização dos processos de manutenção industrial, sobretudo em equipamentos críticos como as turbinas a vapor. A adoção de práticas eficazes de gestão de custos pode representar um diferencial competitivo decisivo para empresas do setor, contribuindo para a redução de desperdícios, o aumento da disponibilidade dos ativos e a maior previsibilidade financeira das operações (CESAR, 2025).

Adicionalmente, a análise sistemática das discrepâncias entre orçamento e execução real possibilita identificar falhas sistêmicas, oportunidades de melhoria contínua e estratégias para aprimorar a precisão dos processos de planejamento. Tais ações contribuem para a maturidade da gestão de ativos e para a consolidação de boas práticas de engenharia de manutenção, em consonância com referenciais internacionais como o Guia PMBOK® (PMI, 2021) e as recomendações da AACE *International* (2020).

1.3 Nota de confidencialidade

Por se tratar de estudo desenvolvido com base em dados de uma empresa privada, os valores monetários absolutos e as informações comerciais sensíveis foram suprimidos e substituídos por índices normalizados e percentuais relativos. Essa abordagem preserva a validade técnica e comparativa da análise, ao mesmo tempo em que resguarda o sigilo corporativo e os interesses comerciais da empresa estudada.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar e comparar os custos orçados e os custos efetivamente executados em serviços de manutenção de turbinas a vapor, avaliando as discrepâncias verificadas e propondo melhorias nos processos de orçamento e controle de custos.

2.2 Objetivos específicos

De modo a alcançar o objetivo geral, definem-se como objetivos específicos:

- levantar a estrutura de custos diretos e indiretos adotada pela empresa estudada;
- classificar os componentes de custo segundo critérios consolidados na literatura técnica;
- aplicar a Curva ABC para identificar os itens de maior representatividade econômica em cada serviço analisado;
- comparar quantitativamente os percentuais orçados e realizados em duas etapas sucessivas de manutenção — análise preliminar e reparo do rotor — em uma turbina a vapor de 29,05 MW;
- identificar as causas das variações observadas, a luz da literatura técnica e das boas práticas de gerenciamento de projetos;
- propor diretrizes aplicáveis a outros projetos de manutenção industrial submetidos a sigilo comercial.

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação da pesquisa

Quanto à natureza, o presente trabalho classifica-se como pesquisa aplicada, pois busca gerar conhecimento técnico-científico com aplicação prática em ambiente industrial real. Quanto aos objetivos, caracteriza-se como descritivo-analítico, uma vez que procura identificar relações entre variáveis de custo e variáveis de execução. Sob a perspectiva da abordagem, combina análise quantitativa — pela avaliação de índices e percentuais — e análise qualitativa — pela interpretação técnica das causas das variações observadas (GIL, 2008).

3.2 Etapas do estudo

3.2.1 Revisão bibliográfica

Foi realizado levantamento de referências técnicas e científicas sobre engenharia de custos e manutenção industrial, com base em autores consagrados da área, entre os quais Azevedo (1985), Mattos (2006), Dias (2008) e Kardec e Nascif (2009), além de publicações recentes da *AACE International* (2020) e do *Project Management Institute* (2021).

3.2.2 Coleta de dados

Foram reunidas informações relativas a um projeto real de manutenção em turbina a vapor, contemplando, especificamente:

- o escopo técnico do serviço executado;
- as horas de mão de obra previstas e realizadas;
- a metodologia de precificação adotada pela empresa, incluindo a aplicação do Benefício e Despesas Indiretas (BDI);
- a composição de custos diretos e indiretos.

Em conformidade com as exigências de sigilo comercial, os dados foram tratados de forma confidencial. Os valores monetários absolutos foram convertidos em índices relativos com base 100 e em percentuais de variação, preservando a proporcionalidade entre os componentes.

3.2.3 Tratamento e análise dos dados

O tratamento dos dados envolveu as seguintes operações:

- normalização dos custos em índices comparativos para a avaliação percentual entre valores orçados e realizados;
- elaboração de tabelas e gráficos representativos das diferenças de custos ($\Delta\%$) por categoria;
- aplicação da Curva ABC para identificar os componentes mais representativos do custo total;
- identificação das causas de variação, com ênfase em fatores como cotação de insumos, prazos de fornecimento, produtividade da mão de obra e alterações técnicas durante a execução.

3.2.4 Discussão e recomendações

Os resultados foram comparados as referências da literatura técnica e analisados sob a ótica da eficiência econômica, do planejamento e do controle de custos. A análise culminou na proposição de melhorias práticas aplicáveis a empresa estudada e a outros serviços de natureza similar.

3.3 Procedimentos de análise

A análise de variações entre custos orçados e realizados foi conduzida com base na Equação (1), na qual se utiliza o custo orçado como referência no denominador, em conformidade com a prática consolidada na engenharia de custos (MATTOS, 2006; AACE INTERNATIONAL, 2020):

$$\Delta (\%) = [(C_{\text{real}} - C_{\text{orçado}}) / C_{\text{orçado}}] \times 100 \quad (1)$$

em que C_{real} e $C_{\text{orçado}}$ são, respectivamente, os índices normalizados de custo realizado e custo orçado, este último adotado como base 100.

A construção da Curva ABC foi realizada a partir da participação percentual de cada componente em relação ao custo total do projeto. Como critério de classificação, adotou-se a análise da participação acumulada dos itens de custo sobre o valor global do serviço. Os limites de corte foram definidos conforme práticas consolidadas de gestão de custos, estabelecendo-se as seguintes faixas:

- Classe A: itens que, em conjunto, representam aproximadamente 60% do custo total acumulado;
- Classe B: componentes intermediários, que elevam o acumulado para a faixa de 60% a 75%;
- Classe C: itens de menor relevância relativa, correspondentes ao intervalo de 75% a 90%;
- Classe D: elementos residuais, cuja participação ultrapassa 90% do custo acumulado.

Tal metodologia permite identificar e priorizar os componentes de maior impacto econômico, direcionando os esforços de controle e planejamento para os itens mais representativos. Os resultados foram apresentados de forma comparativa, em gráficos e tabelas normalizadas, assegurando a preservação do sigilo das informações corporativas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Engenharia de custos

A engenharia de custos constitui o ramo da engenharia voltado ao planejamento, a estimativa, ao monitoramento e ao controle dos recursos financeiros associados a projetos e serviços técnicos. Conforme Azevedo (1985), sua finalidade central é compatibilizar os aspectos técnicos e econômicos de um empreendimento, assegurando sua viabilidade financeira e sua rentabilidade operacional.

A evolução da engenharia de custos incorporou, ao longo das últimas décadas, metodologias estruturadas de estimativa e de análise de incertezas. Segundo a *AACE International* (2020), as estimativas podem ser classificadas em diferentes níveis conforme o grau de definição do escopo, variando desde estimativas conceituais (Classe 5) até estimativas definitivas (Classe 1). Em intervenções de manutenção corretiva, nas quais o estado real do equipamento pode apresentar variabilidade significativa, a precisão da estimativa depende diretamente da qualidade do levantamento técnico preliminar, sendo recomendada a inclusão de reservas de contingência para absorver os riscos inerentes ao processo.

No âmbito da formação de preços, Mattos (2006) destaca que o orçamento deve contemplar custos diretos, custos indiretos, encargos sociais, tributos e o Benefício e Despesas Indiretas (BDI), de modo a refletir adequadamente as condições reais de execução. A correta estruturação desses componentes é determinante para evitar subestimações que comprometam a margem financeira do contrato.

4.2 Manutenção industrial e confiabilidade

Quando aplicada a manutenção industrial, a análise de custos assume dimensão estratégica. Conforme Kardec e Nascif (2009), os custos de manutenção estão diretamente relacionados a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos. Indicadores como o Tempo Médio Entre Falhas (MTBF — *Mean Time Between Failures*) e o Tempo Médio para Reparo (MTTR — *Mean Time to Repair*) permitem avaliar o desempenho do sistema de manutenção e direcionar ações de melhoria contínua.

A relação entre custos e confiabilidade é direta: reduções no MTTR diminuem o tempo de indisponibilidade do equipamento, enquanto aumentos no MTBF reduzem a frequência de intervenções corretivas. Sob essa perspectiva, a gestão eficiente da manutenção não apenas minimiza despesas imediatas, mas também influencia o Custo do Ciclo de Vida (LCC — *Life Cycle Cost*) do ativo, conceito amplamente discutido na literatura de engenharia de manutenção e gestão de ativos (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

4.3 Gerenciamento de projetos segundo o Guia PMBOK®

O Guia PMBOK® (PMI, 2021) estabelece que o controle de custos em projetos deve ocorrer de forma contínua e integrada, abrangendo os processos de estimativa, orçamento e monitoramento. Em serviços de manutenção de equipamentos rotativos de grande porte, essa abordagem permite identificar variações precocemente e implementar ações corretivas antes que os desvios comprometam o desempenho financeiro do projeto.

O mesmo guia enfatiza a importância do gerenciamento de riscos, estruturado nas etapas de identificação, análise qualitativa e quantitativa, planejamento de respostas e monitoramento. Em intervenções em turbinas a vapor, riscos técnicos como a identificação de trincas ocultas, desalinhamentos severos, desgaste excessivo de componentes ou necessidade de retrabalho podem alterar significativamente os custos previstos, justificando a adoção de contingências adequadas na composição orçamentária.

Dessa forma, observa-se que a integração entre engenharia de custos, gestão da manutenção, confiabilidade e gerenciamento de riscos constitui elemento fundamental para reduzir desvios financeiros e ampliar a previsibilidade econômica em projetos complexos, como os serviços de manutenção de turbinas a vapor.

4.4 Benefício e Despesas Indiretas (BDI)

O Benefício e Despesas Indiretas (BDI) representa parcela essencial na formação do preço de serviços industriais. Sua composição envolve encargos sociais, tributos, despesas administrativas, custos financeiros, provisões de risco e margem de lucro. Conforme Mattos (2006), a correta determinação do BDI é decisiva para

assegurar a sustentabilidade econômica do contrato, especialmente em serviços de alta complexidade técnica e elevada incerteza operacional.

Em projetos de manutenção de turbinas a vapor, nos quais podem ocorrer variações de escopo decorrentes de inspeções internas ou ajustes técnicos não previstos, a adequada definição do BDI e das reservas de contingência se torna instrumento fundamental para mitigar riscos financeiros e preservar a rentabilidade da intervenção.

5 ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso, de caráter real, contempla a execução de serviços de manutenção corretiva e preventiva em uma turbina a vapor de médio porte, com potência nominal de 29,05 MW. Os dados foram construídos com base em uma intervenção real, denominada internamente “Reparo do Rotor”, mantendo-se o realismo técnico e preservando-se a confidencialidade das informações comerciais.

5.1 Procedimentos metodológicos e origem dos dados

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos a partir dos registros internos da empresa, contemplando composições históricas de custos e informações de um serviço efetivamente executado em rotor de turbina a vapor. Em razão do caráter confidencial das informações comerciais, os valores monetários absolutos foram convertidos em percentuais relativos, preservando-se a proporcionalidade entre os componentes e viabilizando a análise técnica sem exposição de dados estratégicos.

O estudo contempla dois serviços sucessivos prestados ao mesmo cliente: a análise preliminar do equipamento e, posteriormente, o reparo do rotor. A metodologia adotada se baseou em: (i) levantamento da estrutura de custos da empresa; (ii) classificação entre custos diretos e custos indiretos; (iii) aplicação da Curva ABC; (iv) comparação entre custos orçados e custos realizados; e (v) interpretação dos resultados sob a ótica da engenharia de manutenção e da gestão de projetos.

5.2 Estrutura de custos

O orçamento inicial considerou seis categorias principais: Engenharia (ou Usinagem, conforme o serviço), Montagem, Planejamento e Inspeção, Mão de Obra, Custo Fixo Indireto (CFI) e Custo Variável Indireto (CVI). Para a análise econômica do serviço de manutenção, adotou-se uma estrutura de decomposição de custos baseada na distinção entre custos diretos, custos indiretos e os encargos associados a composição do preço final do serviço. De forma geral, o custo total de um projeto de manutenção pode ser representado pela Equação (2):

$$\text{Custo_total} = \text{Custos_diretos} + \text{Custos_indiretos} \quad (2)$$

em que:

- **Custos diretos:** compreendem os custos diretamente associados à execução técnica do serviço, tais como mão de obra especializada, usinagem, montagem, planejamento técnico e inspeção;
- **Custos indiretos:** englobam despesas administrativas, logística, infraestrutura, encargos e demais custos de suporte que, embora não diretamente vinculados a uma atividade específica, são necessários a viabilização do projeto.

Sob a ótica da formação de preço, a composição pode ainda ser expressa considerando a aplicação do Benefício e Despesas Indiretas (BDI), conforme a Equação (3):

$$\text{Custo_total_serviço} = \text{Custos_diretos} \times (1 + \text{BDI}) \quad (3)$$

expressão em que o BDI incorpora tributos, encargos sociais, despesas administrativas, riscos e margem de lucro, conforme detalhado na Seção 4.4.

A correta classificação dos componentes de custo é essencial para a análise comparativa entre valores orçados e realizados. Segundo Mattos (2006), os custos diretos são aqueles vinculados de forma imediata a execução técnica do serviço, como mão de obra especializada, usinagem e montagem. Quando esses custos não variam com o volume de produção, são denominados custos fixos diretos (CFD), exemplificados pelos salários de engenheiros e técnicos contratados especificamente para o projeto.

Já os custos variáveis diretos (CVD) correspondem a insumos cuja magnitude aumenta proporcionalmente a execução do serviço, como materiais de reposição e peças de usinagem. Por outro lado, os custos indiretos englobam despesas que não estão diretamente ligadas a uma atividade específica, mas são necessárias para viabilizar o projeto. Conforme Dias (2008), os custos fixos indiretos (CFI) incluem gastos administrativos e estruturais que permanecem constantes — como aluguel de instalações e supervisão —, ao passo que os custos variáveis indiretos (CVI) englobam encargos e despesas de suporte cujo volume cresce conforme o avanço do serviço, como logística, transporte e consumo de energia elétrica.

Azevedo (1985) reforça que a distinção entre custos fixos e variáveis, e entre diretos e indiretos, permite maior precisão tanto na formação do preço quanto no controle da rentabilidade do empreendimento.

5.3 Descrição dos serviços analisados

5.3.1 Serviço 1 — Análise preliminar

A análise preliminar corresponde a etapa inicial de inspeção técnica, abrangendo desmontagem parcial, medições, verificação de desgaste e definição do escopo do reparo subsequente. A Tabela 1 apresenta os percentuais orçados para essa etapa, evidenciando os elementos de formação de custo de maior relevância.

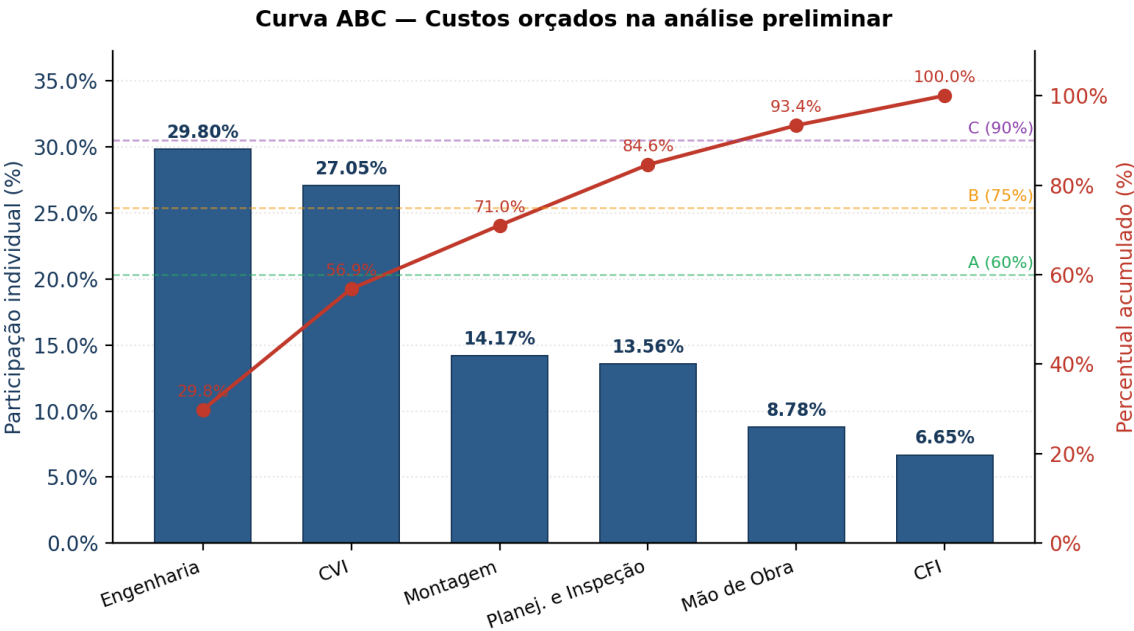
Tabela 1 — Custos orçados para a análise preliminar

Custos Fixos Diretos					CFI	CVI
Engenharia	Montagem	Planejamento e inspeção	Mão de obra	Total CFD	(%)	(%)
29,80%	14,17%	13,56%	8,78%	66,31%	6,65%	27,05%

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A partir desses dados orçados, aplicou-se a Curva ABC apresentada na Figura 1, que evidencia, de forma visual e simplificada, os grupos de maior representatividade financeira do projeto.

Figura 1 — Curva ABC dos custos orçados na análise preliminar



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os resultados indicaram concentração significativa dos custos em poucos elementos principais, com destaque para as atividades técnicas especializadas, especialmente Engenharia e CVI, que juntas respondem por aproximadamente

56,85% do custo total — caracterizando a Classe A dessa intervenção. Após a execução do serviço, consolidaram-se os custos efetivamente incorridos, conforme apresentado na Tabela 2, o que permite a comparação entre planejamento e execução.

Tabela 2 — Custos realizados para a análise preliminar

Custos Fixos Diretos					CFI	CVI
Engenharia	Montagem	Planejamento e inspeção	Mão de obra	Total CFD	(%)	(%)
29,80%	15,34%	13,56%	11,90%	70,60%	6,65%	27,05%

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A Tabela 3 apresenta a comparação entre os percentuais orçados e realizados, destacando as variações absolutas (em pontos percentuais) por categoria.

Tabela 3 — Comparação entre custos orçados e realizados na análise preliminar

Categoria	Orçado (%)	Realizado (%)	Δ absoluto (p.p.)
Engenharia	29,80	29,80	0,00
Montagem	14,17	15,34	+1,17
Planejamento e inspeção	13,56	13,56	0,00
Mão de obra	8,78	11,90	+3,12
Total CFD	66,31	70,60	+4,29
CFI	6,65	6,65	0,00
CVI	27,05	27,05	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

As variações observadas concentraram-se nas categorias Montagem e Mão de Obra, cujas participações elevaram o agregado de Custos Fixos Diretos de 66,31% para 70,60%, correspondendo a um acréscimo de 4,29 pontos percentuais. A análise das variações relativas é discutida em detalhes na Seção 6.1.

5.3.2 Serviço 2 — Reparo do rotor

Concluída a análise preliminar e definido o escopo técnico, foi contratada a etapa subsequente de reparo do rotor. Essa fase abrangeu atividades de usinagem, desmontagem, inspeção, recuperação dimensional, montagem e validação final, com tolerâncias geométricas rigorosas. A Tabela 4 apresenta os percentuais orçados para o reparo do rotor.

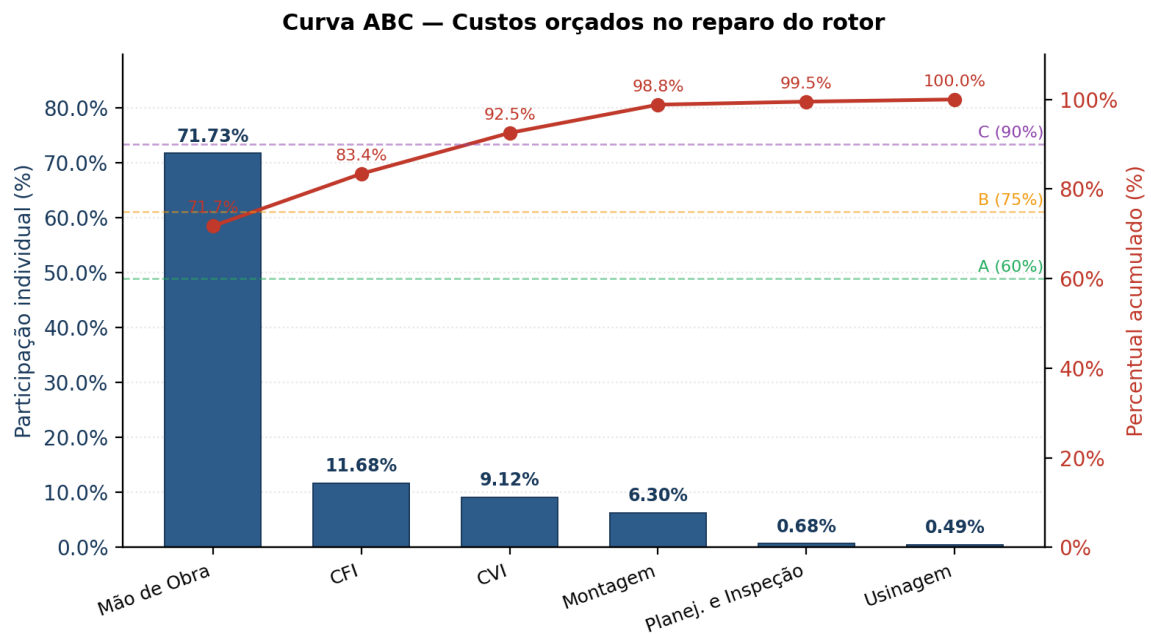
Tabela 4 — Custos orçados para o reparo do rotor

Custos Fixos Diretos					CFI	CVI
Usinagem	Montagem	Planejamento e inspeção	Mão de obra	Total CFD	(%)	(%)
0,49%	6,30%	0,68%	71,73%	79,20%	11,68%	9,12%

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A partir desses dados, aplicou-se novamente a Curva ABC, conforme Figura 2, com vistas a identificar e visualizar os componentes de maior representatividade econômica.

Figura 2 — Curva ABC dos custos orçados no reparo do rotor



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Observa-se predominância acentuada da rubrica de Mão de Obra, que responde sozinha por mais de 70% do custo total. Esse comportamento é coerente com a natureza do serviço, intensivo em conhecimento técnico especializado e em horas-homem qualificadas. Após a execução, consolidaram-se os custos realizados, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 — Custos realizados para o reparo do rotor

Custos Fixos Diretos					CFI	CVI
Usinagem	Montagem	Planejamento e inspeção	Mão de obra	Total CFD	(%)	(%)
0,53%	6,30%	0,72%	74,12%	81,67%	11,68%	9,12%

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A Tabela 6 sistematiza a comparação entre os valores orçados e realizados para essa intervenção.

Tabela 6 — Comparação entre custos orçados e realizados no reparo do rotor

Categoria	Orçado (%)	Realizado (%)	Δ absoluto (p.p.)
Usinagem	0,49	0,53	+0,04
Montagem	6,30	6,30	0,00
Planejamento e inspeção	0,68	0,72	+0,04
Mão de obra	71,73	74,12	+2,39
Total CFD	79,20	81,67	+2,47
CFI	11,68	11,68	0,00
CVI	9,12	9,12	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

As variações foram concentradas nas categorias Usinagem, Planejamento e Inspeção e, principalmente, Mão de Obra, esta última registrando acréscimo de 2,39 pontos percentuais. A discussão técnica desses resultados é apresentada na Seção 6.2.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados apresentados no capítulo anterior permitiram analisar economicamente duas etapas complementares de atendimento ao cliente: inicialmente a análise preliminar do equipamento e, em seguida, o reparo do rotor da turbina a vapor. Essa sequência reflete prática consolidada no mercado de manutenção de turbinas a vapor, no qual diagnósticos técnicos precedem intervenções corretivas de maior complexidade. A avaliação integrada desses serviços permite compreender não apenas a composição de custos individual de cada fase, como também a relação entre planejamento, previsibilidade técnica e eficiência operacional.

6.1 Resultados da análise preliminar

A etapa de análise preliminar teve por objetivo diagnosticar a condição do equipamento, identificar desgastes existentes e definir o escopo do reparo subsequente. Do ponto de vista econômico, trata-se de serviço caracterizado por elevada participação de atividades técnicas especializadas, com predominância de mão de obra qualificada.

Com base na Curva ABC apresentada na Figura 1, verificou-se que os componentes classificados na Classe A correspondem as categorias Engenharia e Custo Variável Indireto (CVI), que juntas representam aproximadamente 56,85% do custo total do serviço de análise preliminar. A Classe B é composta pela categoria Montagem, enquanto a Classe C engloba os custos de Planejamento e Inspeção. Já os componentes classificados na Classe D — Mão de Obra e Custo Fixo Indireto (CFI) — apresentam menor impacto individual no custo total, embora permaneçam relevantes do ponto de vista operacional.

A avaliação do orçamento preliminar evidencia a predominância dos Custos Fixos Diretos (CFD), que representam 66,31% do total. Dentro dessa categoria, destacam-se os gastos com Engenharia (29,80%), seguidos por Montagem (14,17%), Planejamento e Inspeção (13,56%) e Mão de Obra (8,78%). Os Custos Fixos Indiretos (CFI) correspondem a 6,65%, enquanto os Custos Variáveis Indiretos (CVI) concentram 27,05% do orçamento. Nota-se, portanto, que a maior parcela dos recursos está vinculada diretamente as atividades técnicas e operacionais,

especialmente aquelas relacionadas a fase inicial de definição de escopo e a mobilização das equipes especializadas.

Essa distribuição reforça a natureza técnica do serviço e indica que decisões tomadas na etapa de diagnóstico e planejamento exercem influência significativa sobre o desempenho financeiro global. Em particular, a elevada participação da Engenharia e dos Custos Variáveis Indiretos sugere que o controle rigoroso desses componentes é determinante para a eficiência econômica do projeto.

A comparação entre os valores orçados (Tabela 1) e os valores realizados (Tabela 2) revela que as variações se concentraram em duas categorias específicas: Mão de Obra e Montagem. A rubrica de Mão de Obra, que correspondia a 8,78% do orçamento, atingiu 11,90% na execução, registrando um acréscimo absoluto de 3,12 pontos percentuais — o que equivale, em termos relativos, a uma variação de aproximadamente +35,5% em relação ao previsto. Por sua vez, a categoria Montagem evoluiu de 14,17% para 15,34%, correspondendo a uma variação relativa de +8,3%.

As demais categorias (Engenharia, Planejamento e Inspeção, CFI e CVI) mantiveram-se inalteradas em relação ao orçamento original, o que sugere boa aderência do planejamento técnico e estabilidade dos custos administrativos e logísticos. No agregado, os Custos Fixos Diretos passaram de 66,31% para 70,60%, configurando um acréscimo de 4,29 pontos percentuais, ou variação relativa de +6,5% em relação à previsão inicial.

As variações observadas na Mão de Obra mostram-se compatíveis com os desafios típicos da fase de diagnóstico em turbinas a vapor. Após longos períodos de operação contínua, os equipamentos tendem a apresentar dificuldades de desmontagem por oxidação ou incrustação, exigindo horas adicionais de trabalho não plenamente previsíveis no orçamento. A magnitude da variação relativa em Mão de Obra (+35,5%), todavia, sinaliza oportunidade de melhoria nas estimativas iniciais dessa rubrica, sobretudo por meio da inclusão de margens de contingência mais robustas para serviços de inspeção em ativos com histórico operacional incompleto.

6.2 Resultados do reparo do rotor

No orçamento do reparo do rotor, observou-se predominância expressiva da Mão de Obra, responsável por 71,73% do custo total previsto. Esse resultado indica

que o desempenho econômico da intervenção depende diretamente da produtividade das equipes especializadas, do controle das horas trabalhadas e do cumprimento do cronograma estabelecido. Em serviços nos quais a mão de obra representa a principal parcela do custo, desvios como retrabalho, atrasos operacionais, indisponibilidade de recursos ou ampliação do prazo de execução tendem a gerar impactos financeiros relevantes (KARDEC; NASCIF, 2009).

Esse comportamento é compatível com a natureza técnica do reparo de rotores de turbinas a vapor, que envolve desmontagem, inspeções dimensionais, análises de integridade, correções geométricas e remontagem com tolerâncias rigorosas. Diferentemente de atividades com elevado consumo de materiais, o valor agregado concentra-se no conhecimento técnico aplicado e na execução controlada das etapas críticas.

Embora os custos indiretos apresentem menor participação percentual, sua influência gerencial permanece relevante. Despesas relacionadas a logística, infraestrutura, encargos e suporte operacional afetam a rentabilidade do contrato e, caso sejam subestimadas, podem comprometer a margem do projeto. Dessa forma, a gestão integrada entre custos diretos e indiretos é fundamental para garantir previsibilidade financeira.

Na execução do reparo, a comparação entre custos orçados (Tabela 4) e realizados (Tabela 5) demonstrou aderência satisfatória entre planejamento e resultado final, com variações concentradas nas atividades técnicas diretas. As principais alterações ocorreram em Mão de Obra (de 71,73% para 74,12%, acréscimo de 2,39 pontos percentuais ou +3,3% em termos relativos), em Usinagem (de 0,49% para 0,53%, acréscimo de 0,04 ponto percentual ou +8,2%) e em Planejamento e Inspeção (de 0,68% para 0,72%, acréscimo de 0,04 ponto percentual ou +5,9%).

Por outro lado, as categorias Montagem, Custo Fixo Indireto (CFI) e Custo Variável Indireto (CVI) permaneceram inalteradas, indicando estabilidade administrativa, dimensionamento logístico adequado e consistência no planejamento dos recursos de apoio. Sob a perspectiva operacional, tais variações são compatíveis com intervenções em rotores submetidos a longos períodos de operação contínua sem paradas programadas. Nesses casos, o desgaste acumulado dos componentes tende a ampliar o tempo de desmontagem, elevar a necessidade de ajustes técnicos e demandar maior rigor nas etapas de remontagem e alinhamento final.

Assim, o aumento da participação da Mão de Obra não representa, necessariamente, falha de gestão, mas sim reflexo da complexidade efetivamente encontrada durante a execução. Em serviços dessa natureza, horas adicionais costumam estar associadas a:

- remoção de componentes aderidos por oxidação ou incrustação;
- medições complementares após abertura do equipamento;
- correções de folgas e concentricidade;
- balanceamento e alinhamento mecânico;
- validações técnicas exigidas para liberação operacional.

Segundo Kardec e Nascif (2009), ativos críticos submetidos a longos períodos operacionais tendem a transferir, para futuras intervenções corretivas ou revisões de maior porte, custos aparentemente evitados no curto prazo. Esse princípio é compatível com os resultados observados neste estudo. Sob a perspectiva do gerenciamento de projetos, conforme o Guia PMBOK® (PMI, 2021), a proximidade entre custos previstos e realizados — desvio total inferior a 3,2% no agregado de CFD — sugere maturidade no processo de estimativa, adequada definição de escopo e controle eficiente da execução.

6.3 Análise integrada dos dois serviços

A análise conjunta das duas etapas evidencia um ponto central da gestão de manutenção: investimentos em diagnóstico técnico inicial tendem a elevar a qualidade do planejamento da intervenção principal. A boa aderência observada no reparo do rotor — desvio relativo médio inferior a 6% nas rubricas de maior peso — sugere que a análise preliminar cumpriu adequadamente sua função de reduzir incertezas técnicas, mapear necessidades reais e permitir orçamento mais consistente.

Esse modelo de atuação é amplamente recomendado no mercado de manutenção de turbinas a vapor, especialmente em ativos críticos cujo histórico operacional pode ser incompleto ou quando houve longo período sem manutenção de grande porte. Conforme Kardec e Nascif (2009), a antecipação de informações técnicas relevantes reduz custos totais do ciclo de manutenção e melhora a tomada de decisão gerencial. Em outras palavras, a análise preliminar não deve ser

interpretada apenas como custo inicial adicional, mas como ferramenta de mitigação de riscos técnicos e financeiros.

Os resultados observados também confirmam o que preconiza a literatura de engenharia de custos: as maiores variações tendem a se concentrar nos itens classificados como Classe A pela análise da Curva ABC. No caso da análise preliminar, a rubrica de Mão de Obra — embora classificada na Classe D do orçamento original — apresentou a maior variação relativa, sugerindo que a classificação de classes deve ser revisada periodicamente a luz dos dados de execução, e não tomada como informação estática (MATTOS, 2006).

7 CONCLUSÕES

7.1 Considerações finais

O presente trabalho demonstrou que a análise estruturada de custos em serviços de manutenção de turbinas a vapor constitui ferramenta estratégica para o aumento da competitividade empresarial, a previsibilidade financeira e a confiabilidade operacional dos ativos. A comparação entre valores orçados e realizados evidenciou que, mesmo em intervenções de elevada complexidade técnica, é possível manter aderência satisfatória entre planejamento e execução quando há domínio técnico do equipamento, histórico operacional consolidado e processos maduros de engenharia de propostas.

No estudo de caso analisado, a etapa de análise preliminar registrou variação relativa de aproximadamente +35,5% na rubrica de Mão de Obra, evidenciando a sensibilidade desta categoria a efetiva condição do equipamento, frequentemente incerta nessa fase. Já no reparo do rotor, observou-se predominância da Mão de Obra na composição dos custos (74,12% no realizado), com variação relativa total inferior a 3,2% nos Custos Fixos Diretos, característica típica de serviços intensivos em conhecimento técnico especializado, executados sobre escopo adequadamente definido a partir do diagnóstico anterior.

As pequenas variações identificadas no reparo do rotor decorreram principalmente de ajustes executivos associados ao longo período de operação do equipamento sem parada intermediária. Os resultados reforçam a literatura de engenharia de manutenção, ao demonstrar que decisões relacionadas ao momento da parada influenciam diretamente o custo final da intervenção: postergar a manutenção pode elevar a disponibilidade imediata, mas tende a aumentar a complexidade e o custo futuro do reparo.

Conclui-se, portanto, que a integração entre engenharia de custos, confiabilidade, planejamento e gestão de projetos representa diferencial decisivo no mercado de manutenção de turbinas a vapor, contribuindo simultaneamente para a rentabilidade do prestador de serviço e para a sustentabilidade operacional do cliente. O modelo analítico baseado em índices normalizados e Curva ABC, proposto neste trabalho, mostrou-se replicável a outros projetos de manutenção industrial submetidos

a sigilo comercial, oferecendo abordagem adequada para a publicação acadêmica de estudos baseados em dados corporativos sensíveis.

7.2 Limitações do estudo

Cabe reconhecer as limitações desta pesquisa. Primeiramente, o estudo baseia-se em um único caso real e em uma única empresa, o que restringe a generalização direta dos achados. Em segundo lugar, a substituição dos valores monetários absolutos por índices normalizados, embora tecnicamente adequada para preservar o sigilo, impede a aferição direta de magnitudes financeiras absolutas e a comparação com valores praticados no mercado. Por fim, o trabalho concentra-se em uma turbina específica, de 29,05 MW e em condições operacionais particulares — outras tipologias de turbinas a vapor (condensação, contrapressão, extração múltipla) podem apresentar perfis de custo distintos.

7.3 Sugestões para trabalhos futuros

A partir das limitações identificadas e dos resultados obtidos, sugerem-se as seguintes linhas de investigação:

- ampliação da amostra para múltiplos casos e múltiplas empresas, permitindo análise estatística mais robusta dos desvios entre orçamento e execução;
- aplicação da metodologia proposta a outras classes de equipamentos rotativos críticos, como turbinas a gás, compressores centrífugos e bombas de grande porte;
- incorporação de análise probabilística (simulação de Monte Carlo) a composição do BDI e das contingências, conforme recomendado pela *AACE International* (2020);
- integração da Curva ABC com técnicas de Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA) para correlacionar criticidade técnica e relevância econômica dos componentes;
- desenvolvimento de modelos preditivos baseados em dados históricos para estimativa de horas de mão de obra em intervenções de natureza similar.

REFERÊNCIAS

AACE INTERNATIONAL. *Recommended practice no. 17R-97: cost estimate classification system*. Morgantown: AACE International, 2020.

AZEVEDO, Hélio S. de. *Engenharia de custos*. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.

CENTRO DE ESTUDOS E SISTEMAS AVANÇADOS DO RECIFE (CESAR). *Petrobras: inovação e tecnologia em gestão de sobressalentes para eficiência operacional na indústria*. Recife: CESAR, 2025. Disponível em: <https://www.cesar.org.br/painel/case/petrobras-inovacao-e-tecnologia-em-gestao-de-sobressalentes-para-eficiencia-operacional-na-industria/>. Acesso em: 6 out. 2025.

DIAS, Paulo Roberto Vilela. *Engenharia de custos: uma metodologia de orçamentação para obras civis*. 8. ed. Rio de Janeiro: Copiare, 2008.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. *Confiabilidade e manutenção industrial*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. *Manutenção: função estratégica*. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

MATTOS, Aldo Dórea. *Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos*. São Paulo: Pini, 2006.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). *A guide to the project management body of knowledge: PMBOK® guide*. 7th ed. Newtown Square: PMI, 2021.

WORTICE. *Peças sobressalentes para turbinas a vapor*. São Paulo: Wortice, 2025. Disponível em: <https://wortice.com.br/pecas-sobressalentes-para-turbinas-a-vapor>. Acesso em: 15 out. 2025.