



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



Lucas Alves Corrêa

A utilização das leis da termodinâmica como ferramenta de
avaliação da eficiência de serviços no gerenciamento de
contratos

Ouro Preto
2026

Lucas Alves Corrêa

A utilização das leis da termodinâmica como ferramenta de
avaliação da eficiência de serviços no gerenciamento de
contratos

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Ouro
Preto como requisito para a obtenção
do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Dsc. Edson Alves
Figueira Júnior

Ouro Preto
2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C824a Correa, Lucas Alves.

A utilização das leis da termodinâmica como ferramenta de avaliação da eficiência de serviços no gerenciamento de contratos. [manuscrito] / Lucas Alves Correa. - 2026.

49 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Edson Alves Figueira Junior.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Administração de projetos. 2. Contratos. 3. Termodinâmica - Entropia. 4. Confiabilidade (Engenharia). I. Figueira Junior, Edson Alves. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Lucas Alves Corrêa

A utilização das leis da Termodinâmica como ferramenta de avaliação da eficiência de serviços no gerenciamento de contratos

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 06 de julho de 2026

Membros da banca

[Dsc] - Edson Alves Figueira Júnior - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto

[Dsc] - Paulo Henrique Vieira Magalhães - Universidade Federal de Ouro Preto

[Dsc] - Luis Antonio Bortolaia - Universidade Federal de Ouro Preto

Edson Alves Figueira Júnior, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 14/07/2026



Documento assinado eletronicamente por **Edson Alves Figueira Junior**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/07/2026, às 09:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1139348** e o código CRC **E955835C**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. DSc. Edson Alves Figueira, pelo acompanhamento, pelas orientações e pelas contribuições fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também à Universidade Federal de Ouro Preto, aos professores do curso de Engenharia Mecânica e a todos que contribuíram para a minha formação acadêmica.

À minha família, aos amigos e à minha namorada, agradeço pelo apoio, incentivo e compreensão ao longo desta trajetória.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a analogia entre os princípios da Termodinâmica e o gerenciamento de projetos como ferramenta conceitual para avaliação da eficiência em contratos. A pesquisa parte da compreensão de que contratos vinculados a projetos envolvem a aplicação de recursos financeiros, humanos, materiais, técnicos e informacionais, os quais devem ser transformados em entregas compatíveis com critérios de escopo, prazo, custo e qualidade previamente estabelecidos. Nesse contexto, a Termodinâmica contribui com conceitos como energia, eficiência, entropia, e irreversibilidades, permitindo interpretar a execução contratual como um processo de transformação sujeito a desvios entre desempenho planejado e desempenho real. A metodologia adotada caracteriza-se como bibliográfica, qualitativa, exploratória e descritiva, fundamentada em referências sobre gerenciamento de projetos, gestão de aquisições e contratos, fundamentos termodinâmicos, entropia aplicada ao controle de projetos e matriz de priorização. A revisão indica que a comparação entre custo planejado e custo real pode auxiliar na análise da eficiência financeira de projetos e contratos, desde que associada a outros fatores, como riscos, qualidade das entregas, cumprimento de prazos e aderência ao escopo. Além da discussão teórica, o trabalho propõe uma tabela ponderada para avaliação da eficiência contratual e indica o desenvolvimento de uma aplicação como apoio à operacionalização dos cálculos. A ferramenta tem caráter complementar, permitindo organizar os dados do contrato, aplicar as equações propostas e classificar o resultado por meio de uma régua de eficiência. Dessa forma, conclui-se que a aplicação conceitual da Termodinâmica ao gerenciamento de projetos pode auxiliar na identificação e interpretação de desvios e na melhoria da avaliação da eficiência em contratos. A proposta não substitui os métodos tradicionais de gestão, mas oferece uma abordagem complementar para apoiar análises mais objetivas, comparáveis e integradas no contexto da gestão contratual.

Palavras-chave: Gestão de contratos. Gerenciamento de projetos. Eficiência. Termodinâmica. Entropia.

ABSTRACT

The use of the laws of thermodynamics as a tool for evaluating service efficiency in contract management

This study aims to conduct a literature review on the analogy between the principles of Thermodynamics and project management as a conceptual tool for assessing efficiency in contracts. The research is based on the understanding that contracts associated with projects involve the application of financial, human, material, technical, and informational resources, which must be transformed into deliverables consistent with predefined criteria of scope, schedule, cost, and quality. In this context, Thermodynamics contributes concepts such as energy, efficiency, entropy, and irreversibilities, enabling the interpretation of contract execution as a transformation process subject to deviations between planned and actual performance. The adopted methodology is characterized as bibliographic, qualitative, exploratory, and descriptive, grounded in references related to project management, procurement and contract management, thermodynamic fundamentals, entropy applied to project control, and prioritization matrices. The review indicates that the comparison between planned cost and actual cost can support the analysis of financial efficiency in projects and contracts, provided that it is associated with other factors such as risks, quality of deliverables, adherence to schedules, and compliance with scope. In addition to the theoretical discussion, this study proposes a weighted table for assessing contractual efficiency and indicates the development of an application, to support the calculation process. The tool has a complementary role, allowing contract data to be organized, the proposed equations to be applied, and the final result to be classified through an efficiency scale. Therefore, it is concluded that the conceptual application of Thermodynamics to project management can assist in identifying and interpreting deviations and in improving the assessment of contractual efficiency. This approach does not replace traditional management methods but offers a complementary perspective to support more objective, comparable, and integrated analyses within the context of contract management.

Keywords: Contract management. Project management. Efficiency. Thermodynamics. Entropy.

LISTA DE SÍMBOLOS

C_p	Custo planejado do projeto
C_r	Custo real do projeto
η_c	Eficiência financeira contratual
D_f	Desvio financeiro absoluto
P_i	Peso do fator i
$IPIC$	Índice ponderado de interferência contratual
k	Coeficiente de conversão
C_{eq}	Custo equivalente dos fatores
C_{eqi}	Custo equivalente associado ao fator i
CAJ	Custo ajustado do contrato
η_{cf}	Eficiência contratual final ponderada
$D_{f\%}$	Desvio financeiro percentual
N_i	Nota de impacto do fator i
C_{pc}	Custo planejado do contrato
C_{rc}	Custo real do contrato
ΔU	Variação da energia interna do sistema
Q	Calor transferido para o sistema
W	Trabalho realizado pelo sistema

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da metodologia adotada.....	19
Figura 2 - Interface de preenchimento de informações no aplicativo.....	26
Figura 3 - Interface de preenchimento da tabela ponderada.....	27
Figura 4 - Resultado dos cálculos efetuados no aplicativo.....	28
Figura 5 - Relatório de eficiência contratual gerado.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Interpretação da eficiência financeira do projeto.....	8
Tabela 2 - Correspondência conceitual entre Termodinâmica e contratos.....	11
Tabela 3 - Pesos propostos para os fatores que interferem no contrato.....	12
Tabela 4 - Variáveis e indicadores da pesquisa.....	16
Tabela 5 - Relação das variáveis e parâmetros da proposta com a analogia termodinâmica...	16
Tabela 6 - Interpretação do coeficiente de conversão k	22
Tabela 7 - Régua de interpretação da eficiência contratual final.....	24
Tabela 8 - Relação entre as variáveis da proposta e a analogia termodinâmica.....	24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema	1
1.2	Justificativa	2
1.3	Objetivos	3
1.3.1	Geral	3
1.3.2	Específicos	3
1.4	Estrutura do Trabalho	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Gerenciamento de Projetos	5
2.2	Conceito de Projeto	5
2.3	Gestão de riscos, incerteza e entropia em projetos	6
2.4	Eficiência no gerenciamento de projetos	7
2.5	Fundamentos termodinâmicos aplicados à eficiência	9
2.6	Analogia entre termodinâmica e gerenciamento de projetos	10
2.7	Avaliação contratual ponderada	12
3	METODOLOGIA	14
3.1	Tipo de pesquisa	14
3.2	Materiais e Métodos	15
3.3	Variáveis e indicadores	16
3.4	Instrumento de coleta de dados	18
3.5	Tabulação e análise dos dados	18
3.6	Considerações finais do capítulo	19
4	RESULTADOS	20
4.1	Características da proposta de avaliação contratual	20
4.2	Aplicação do modelo de eficiência contratual ponderada	20
4.3	Resultados obtidos	27
4.4	Análise da eficiência contratual	29
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	31
5.1	Conclusão	31

5.2	Recomendações	32
6	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	33

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

O gerenciamento de projetos ocupa papel estratégico em organizações que executam investimentos, implantam ativos, contratam serviços especializados e buscam melhorar o desempenho de suas operações. Em ambientes caracterizados por restrições de prazo, custo, escopo, qualidade, recursos e riscos, torna-se necessário adotar práticas capazes de orientar o planejamento, a execução, o monitoramento e o encerramento dos projetos de maneira estruturada (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008).

De acordo com o *Project Management Institute* (2008), projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. Essa definição evidencia que projetos possuem início e término definidos, além de apresentarem condições específicas de execução. O gerenciamento de projetos consiste na aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto para atender aos seus requisitos.

Nesse contexto, a gestão de contratos assume relevância significativa, pois muitos projetos dependem da contratação de fornecedores, prestadores de serviços, empresas executoras e recursos externos à organização. A administração adequada desses contratos influencia diretamente o desempenho do projeto, uma vez que falhas na definição do escopo, atrasos, custos adicionais, baixa qualidade dos serviços e riscos não controlados podem comprometer os resultados planejados (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008).

A avaliação da eficiência em contratos, contudo, pode apresentar subjetividade quando depende apenas da percepção do gestor ou da comparação isolada entre custo previsto e custo realizado. Embora o indicador financeiro seja relevante, a eficiência contratual também envolve prazo, qualidade, retrabalho, riscos, aderência ao escopo, maturidade do fornecedor, incertezas e capacidade de controle durante a execução (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008; MENDES, 2006).

Mendes (2006) propõe uma analogia entre a Termodinâmica e o gerenciamento de projetos ao relacionar o desempenho ideal, representado pelo planejamento, ao desempenho real, representado pelos custos efetivamente ocorridos. Nessa perspectiva, a eficiência pode ser entendida como a capacidade de converter recursos planejados em entregas úteis, minimizando perdas e desvios gerenciais.

Estudos recentes reforçam essa aproximação ao tratar projetos como sistemas sujeitos à incerteza. Cohen Kashi, Rozenes e Ben-Gal (2020) afirmam que projetos raramente são executados exatamente conforme planejado, pois a duração real das atividades frequentemente difere da duração prevista. Os autores utilizam medidas de entropia e ganho de informação para apoiar o monitoramento de projetos e reduzir incertezas sobre sua duração esperada.

De forma complementar, Bushuyev e Sochnev (1999) tratam a entropia como uma ferramenta de controle de projetos, indicando que a incerteza e a desorganização do sistema podem ser analisadas para apoiar decisões gerenciais. Essa contribuição reforça o uso da entropia como elemento conceitual aplicável ao acompanhamento de projetos e contratos.

Diante desse contexto, tem-se a seguinte pergunta-problema:

Como a analogia entre os princípios da Termodinâmica e o gerenciamento de projetos pode contribuir para a avaliação da eficiência em contratos, considerando o custo planejado, o custo real e os fatores que interferem no desempenho contratual?

1.2 Justificativa

Este trabalho justifica-se pela necessidade de ampliar as formas de análise da eficiência contratual em projetos. Em muitos ambientes organizacionais, contratos são avaliados por indicadores tradicionais, como custo e prazo, mas esses indicadores nem sempre explicam a totalidade das perdas ocorridas durante a execução. A avaliação de um contrato deve considerar também a qualidade das entregas, o grau de retrabalho, a ocorrência de riscos, a aderência ao escopo e a previsibilidade do processo (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008).

A analogia com a Termodinâmica permite interpretar a gestão contratual como um processo de transformação de recursos em entregas. Em sistemas termodinâmicos reais, nem toda energia disponível é convertida em trabalho útil, pois há perdas e irreversibilidades. De modo semelhante, contratos reais podem consumir recursos acima do previsto devido a atrasos, falhas, desperdícios, aditivos, incertezas e retrabalhos (MENDES, 2006).

Segundo Çengel e Ghajar (2012), processos reais estão sujeitos a perdas e limitações, mesmo quando a energia é conservada. Essa noção é relevante para o presente estudo, pois permite compreender que o custo planejado de um contrato representa uma condição ideal de

referência, enquanto o custo real e os fatores de interferência representam o desempenho efetivamente observado.

A contribuição prática do trabalho está na proposição de uma tabela ponderada para cálculo da eficiência contratual. Diferentemente de uma matriz apenas priorizadora, a tabela proposta relaciona custo planejado, custo real e fatores de interferência por meio de pesos e notas. Ao final, obtém-se um percentual de eficiência que pode auxiliar gestores na identificação das principais fontes de perda contratual.

A relevância acadêmica está no caráter interdisciplinar da pesquisa, que aproxima conceitos da Engenharia Mecânica, como energia, rendimento, entropia e irreversibilidade, de conceitos da gestão de projetos, como custo, prazo, escopo, qualidade, risco e controle. Dessa forma, o trabalho contribui para ampliar a compreensão da eficiência em contratos a partir de uma perspectiva sistêmica e mensurável.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Realizar uma revisão bibliográfica sobre a utilização da analogia entre princípios da Termodinâmica e gerenciamento de projetos como ferramenta conceitual para avaliação da eficiência contratual, propondo uma tabela ponderada capaz de relacionar custo e fatores de interferência no desempenho dos contratos.

1.3.2 Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Apresentar os principais conceitos relacionados ao gerenciamento de projetos e à gestão de contratos;
- b) Descrever fundamentos termodinâmicos relacionados à energia, trabalho, eficiência, entropia, perdas e irreversibilidades;
- c) Analisar a contribuição da analogia proposta por Mendes (2006) para a avaliação da eficiência em projetos;
- d) Discutir a relação entre incerteza, entropia e monitoramento de projetos com base em estudos recentes;

- e) Identificar fatores que podem interferir na eficiência contratual, tais como prazo, qualidade, retrabalho, risco, escopo, maturidade do fornecedor e incerteza;
- f) Propor uma tabela ponderada de cálculo da eficiência contratual que relacione os fatores de interferência ao custo planejado e ao custo real do contrato.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos, seguindo a estrutura adotada no modelo de monografia analisado. No primeiro capítulo são apresentadas a formulação da pergunta-problema, a justificativa, os objetivos e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica, tratando dos principais temas relacionados ao estudo: gerenciamento de projetos, gestão de contratos e aquisições, riscos, incerteza, entropia, eficiência, fundamentos termodinâmicos e avaliação contratual ponderada.

No terceiro capítulo são descritos os procedimentos metodológicos, incluindo o tipo de pesquisa, os materiais e métodos, as variáveis e indicadores, o instrumento de coleta de dados bibliográficos, a tabulação e análise conceitual dos dados e as considerações finais do capítulo.

No Capítulo 4, são apresentadas as fórmulas utilizadas no aplicativo, a régua de eficiência contratual, o custo equivalente associado aos fatores de interferência e a analogia conceitual entre as variáveis da proposta e os fundamentos da Termodinâmica. O aplicativo é tratado como recurso complementar de apoio, não como objetivo central do trabalho.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gerenciamento de Projetos

O gerenciamento de projetos é uma área voltada à aplicação de métodos, ferramentas e técnicas para conduzir empreendimentos temporários que possuem objetivos definidos, recursos limitados e entregas específicas. Para o *Project Management Institute* (2008), o gerenciamento de projetos envolve a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto com o objetivo de atender aos seus requisitos.

Projetos diferem de operações contínuas porque possuem início e término definidos, enquanto operações são repetitivas e permanentes. Essa distinção é importante para a análise contratual, pois contratos associados a projetos também são temporários e orientados a entregas específicas, como obras, serviços, fornecimentos, manutenções ou implantação de ativos (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008).

O gerenciamento de projetos exige equilíbrio entre restrições conflitantes, como escopo, qualidade, cronograma, orçamento, recursos e riscos. Alterações em uma dessas dimensões tendem a afetar as demais, tornando necessária uma visão integrada do desempenho. Essa integração é essencial para avaliar a eficiência de contratos, uma vez que o resultado financeiro não pode ser interpretado isoladamente (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008).

Mendes (2006) compreende o projeto como um processo de transformação, no qual recursos planejados são consumidos para gerar entregas. Quanto maior for a diferença entre planejamento e execução, maior tende a ser a perda gerencial associada ao projeto.

2.2 Conceito de Projeto

A gestão de contratos está diretamente vinculada ao gerenciamento de aquisições. Em muitos projetos, produtos, serviços e resultados são obtidos por meio de fornecedores externos, o que torna a contratação uma etapa crítica para o alcance dos objetivos do projeto. O *Project Management Institute* (2008) apresenta o gerenciamento de aquisições como o conjunto de processos necessários para comprar ou adquirir produtos, serviços ou resultados externos à equipe do projeto.

Esses processos envolvem o planejamento das aquisições, a condução das aquisições, a administração dos contratos e o encerramento das aquisições. O planejamento define o que será contratado, quais critérios serão adotados, quais documentos serão utilizados e quais responsabilidades estarão associadas à execução. A condução envolve a seleção de fornecedores, a avaliação de propostas e a formalização contratual (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008).

A administração do contrato corresponde ao acompanhamento da execução, à fiscalização do cumprimento das cláusulas, à verificação da qualidade das entregas, ao controle dos prazos e ao tratamento de mudanças. O encerramento formaliza a conclusão do contrato e registra lições aprendidas para projetos futuros (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008).

No contexto da eficiência contratual, o contrato pode ser compreendido como um sistema que recebe recursos e deve produzir entregas. Quando as condições de planejamento, fiscalização e controle não são adequadas, surgem perdas relacionadas a atrasos, retrabalhos, não conformidades, aditivos e aumento do custo real (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008; MENDES, 2006).

2.3 Gestão de riscos, incerteza e entropia em projetos

A gestão de riscos é essencial para a eficiência de projetos e contratos, pois busca identificar, analisar, responder e monitorar eventos incertos que podem afetar os objetivos do projeto. Riscos podem provocar atrasos, aumento de custos, perda de qualidade, falhas de fornecedores, mudanças de escopo e conflitos contratuais (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008).

O *Project Management Institute* (2008) define o gerenciamento de riscos como um conjunto de processos voltados a aumentar a probabilidade e o impacto de eventos positivos e reduzir a probabilidade e o impacto de eventos negativos. Essa abordagem reforça a importância de monitorar continuamente os contratos, especialmente aqueles sujeitos a alta complexidade ou baixa previsibilidade.

A incerteza pode ser relacionada ao conceito de entropia. Na Termodinâmica, a entropia está associada à irreversibilidade e à dispersão da energia. Na gestão de projetos, por analogia, a entropia pode ser compreendida como o grau de desordem, incerteza ou imprevisibilidade que dificulta a conversão eficiente de recursos em entregas (BUSHUYEV; SOCHNEV, 1999).

Cohen Kashi, Rozenes e Ben-Gal (2020) aplicam medidas de teoria da informação ao monitoramento de projetos. Os autores argumentam que projetos raramente são executados exatamente conforme planejado e que os pontos de inspeção devem ser definidos de forma a maximizar o ganho de informação sobre a duração esperada do projeto. Essa abordagem evidencia que o controle gerencial deve buscar reduzir a incerteza e melhorar a capacidade de previsão.

Bushuyev e Sochnev (1999) também tratam a entropia como ferramenta de controle de projetos. A contribuição desses autores é relevante porque aproxima a ideia de entropia da necessidade de medir o estado de controle do projeto, permitindo interpretar a perda de previsibilidade como um elemento que compromete o desempenho gerencial.

Pourrahimian *et al.* (2025) reforçam a atualidade desse debate ao propor uma estrutura centrada em entropia para compreender e gerenciar a dinâmica de projetos de construção. Os autores associam níveis elevados de entropia à menor previsibilidade do progresso, o que corrobora a utilização do conceito para avaliar contratos sujeitos a incerteza, mudanças e desvios.

2.4 Eficiência no gerenciamento de projetos

A eficiência no gerenciamento de projetos pode ser compreendida como a relação entre aquilo que foi planejado e aquilo que foi efetivamente realizado. Em projetos, o planejamento representa a condição de referência, isto é, o desempenho esperado para a execução das atividades. Já a execução representa a condição real, na qual podem ocorrer atrasos, retrabalhos, desperdícios, falhas, alterações de escopo, aditivos e aumento de custos (MENDES, 2006).

Mendes (2006) propõe que a eficiência em projetos pode ser analisada por meio de uma analogia com a eficiência térmica. Na Termodinâmica, a eficiência de um sistema está associada à comparação entre o desempenho ideal e o desempenho real. De forma semelhante, em projetos, essa comparação pode ser feita entre o custo planejado e o custo real.

Dessa forma, a eficiência financeira de um projeto pode ser representada pela Equação 1.

$$\eta_p = \frac{c_p}{c_r} \quad (1)$$

Na Equação 1, η_p representa a eficiência financeira do projeto. O termo c_p corresponde ao custo planejado do projeto, ou seja, ao valor previsto no planejamento para a execução das atividades. O termo c_r corresponde ao custo real do projeto, isto é, ao valor efetivamente gasto durante sua execução.

Quando o custo real é igual ao custo planejado, a eficiência financeira é igual a 1, ou 100%, indicando aderência financeira ao planejamento. Quando o custo real é superior ao custo planejado, a eficiência financeira torna-se menor que 1, indicando que o projeto consumiu mais recursos do que o previsto. Quando o custo real é inferior ao custo planejado, a eficiência financeira torna-se maior que 1, devendo esse resultado ser interpretado com cautela, pois pode decorrer de redução de escopo ou alteração de qualidade.

$$c_r = c_p, \eta_p = 1$$

$$c_r > c_p, \eta_p < 1$$

$$c_r < c_p, \eta_p > 1$$

Além da eficiência financeira, pode-se calcular o desvio financeiro absoluto do projeto, representado pela diferença entre o custo real e o custo planejado.

Na Equação 2, D_f representa o desvio financeiro absoluto do projeto. O termo C_r corresponde ao custo real, enquanto C_p corresponde ao custo planejado. Quando D_f é positivo, o projeto apresentou custo superior ao planejado. Quando D_f é igual a zero, o projeto foi executado conforme o custo previsto. Quando D_f é negativo, o projeto apresentou custo inferior ao planejado.

$$D_f = C_r - C_p \quad (2)$$

Na Equação 3, $D\%$ representa o desvio financeiro percentual do projeto. A diferença $C_r - C_p$ indica o desvio absoluto entre o custo real e o planejado, enquanto C_p é utilizado como base de comparação. O resultado é multiplicado por 100 para expressar o desvio em porcentagem.

$$D\% = \left(\frac{C_r - C_p}{C_p} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

A Tabela 1 apresenta a interpretação da eficiência financeira do projeto em relação aos custos.

Tabela 1 - Interpretação da eficiência financeira do projeto

Situação	Relação entre custos	Resultado da eficiência	Interpretação
Projeto conforme planejado	$C_r = C_p$	$\eta_p = 1$	O custo real foi igual ao custo planejado.
Projeto com sobrecusto	$C_r > C_p$	$\eta_p < 1$	O projeto consumiu mais recursos do que o previsto.
Projeto abaixo do orçamento	$C_r < C_p$	$\eta_p > 1$	O projeto custou menos do que o previsto.
Projeto com grande desvio	$C_r \gg C_p$	η_p tende a diminuir	O projeto apresentou baixa eficiência financeira.

Fonte: Adaptado de Mendes (2006).

2.5 Fundamentos termodinâmicos aplicados à eficiência

A Termodinâmica estuda a energia, suas formas de transferência e suas transformações. Para este trabalho, seus conceitos são utilizados como base para interpretar contratos como sistemas que transformam recursos em entregas. De acordo com Çengel e Ghajar (2012), a energia pode ser transferida por calor, trabalho e, em determinados sistemas, pelo fluxo de massa.

Para delimitar a análise desenvolvida neste trabalho, o contrato é representado, de forma analógica, como um volume de controle. Na Termodinâmica, o volume de controle corresponde a uma região selecionada para análise, delimitada por uma superfície de controle, através da qual podem ocorrer transferências de energia e, em determinados casos, fluxos de massa. Essa abordagem permite identificar as entradas, as saídas, as transformações internas e as perdas associadas ao processo analisado (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

No contexto da gestão contratual, a superfície de controle corresponde aos limites estabelecidos pelo escopo, pelo prazo, pelo orçamento, pelos requisitos de qualidade e pelas responsabilidades definidas no contrato. Esses elementos delimitam aquilo que pertence à execução contratual e permitem acompanhar as relações entre os recursos utilizados e os resultados obtidos. O gerenciamento integrado dessas dimensões é necessário porque alterações no escopo, no cronograma, nos custos, na qualidade, nos recursos ou nos riscos podem afetar o desempenho global do projeto e do contrato (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008).

Nessa representação, os recursos financeiros, humanos, materiais, técnicos e informacionais constituem as entradas do volume de controle. As atividades de planejamento, mobilização, execução, fiscalização, monitoramento e controle correspondem aos processos internos de transformação. As entregas, os serviços executados e os resultados produzidos conforme os requisitos contratuais representam as saídas úteis. Essa interpretação mantém coerência com a analogia proposta por Mendes (2006), segundo a qual o gerenciamento de projetos pode ser compreendido como um processo de transformação de recursos planejados em resultados, sendo a eficiência avaliada pela comparação entre a condição planejada e o desempenho efetivamente observado.

A Primeira Lei da Termodinâmica está associada à conservação da energia. Segundo esse princípio, a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada. De forma simplificada, pode-se representar essa relação pela Equação 4.

$$\Delta U = Q - W \quad (4)$$

Na Equação 4, ΔU representa a variação da energia interna do sistema. O termo Q corresponde ao calor transferido para o sistema, enquanto W representa o trabalho realizado pelo sistema. No presente trabalho, essa equação é utilizada de forma conceitual, permitindo compreender que há uma relação entre o que entra no sistema, o que é transformado e o que sai como resultado útil

Embora a formulação completa do balanço de energia para um volume de controle possa considerar a energia transportada pelos fluxos de massa que atravessam sua superfície, a Equação 4 é utilizada neste trabalho como uma representação conceitual simplificada da Primeira Lei da Termodinâmica. Seu objetivo é demonstrar a relação entre os recursos que entram no processo, as transformações que ocorrem durante a execução e os resultados úteis obtidos (ÇENGEL; GHAJAR, 2012). Portanto, não se pretende estabelecer uma equivalência

física direta entre os recursos contratuais e as formas de energia presentes em um sistema termodinâmico real (MENDES, 2006).

A Segunda Lei da Termodinâmica introduz a ideia de direção dos processos, irreversibilidade e degradação da qualidade da energia. Enquanto a Primeira Lei trata da conservação da quantidade de energia, a Segunda Lei mostra que nem toda energia disponível pode ser convertida em trabalho útil (ÇENGEL; GHAJAR, 2012). Em contratos, essa lógica permite interpretar perdas gerenciais como irreversibilidades associadas a retrabalhos, atrasos, desperdícios e falhas de qualidade (MENDES, 2006).

2.6 Analogia entre termodinâmica e gerenciamento de projetos

A analogia entre Termodinâmica e gerenciamento de projetos parte da ideia de que ambos podem ser analisados como processos de transformação. Em um processo termodinâmico, há entradas de energia, transformação interna, produção de trabalho útil e ocorrência de perdas. Em um projeto ou contrato, há entradas de recursos, execução de atividades, geração de entregas e ocorrência de desvios (MENDES, 2006).

Mendes (2006) propõe a construção de uma analogia entre os processos do ciclo de vida de um projeto e os processos termodinâmicos, relacionando a eficiência térmica à eficiência de projetos. Para o autor, a eficiência em projetos pode ser analisada pela comparação entre o desempenho ideal, representado pelo planejamento, e o desempenho real, representado pelos custos efetivamente incorridos.

Essa abordagem permite interpretar o contrato como um sistema que possui entradas, atividades, resultados e perdas. O orçamento planejado representa uma condição ideal de referência; o custo real representa o desempenho efetivo; e a diferença entre eles indica perdas, desvios ou irreversibilidades gerenciais (MENDES, 2006). Essa correspondência conceitual é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Correspondência conceitual entre Termodinâmica e contratos

Termodinâmica	Gestão de contratos
Sistema	Contrato ou projeto analisado
Entrada de energia	Recursos financeiros, humanos, materiais e técnicos
Processo	Execução contratual

Trabalho útil	Entrega realizada conforme requisitos
Perdas	Atrasos, retrabalhos, falhas e desperdícios
Eficiência	Relação entre planejado e realizado
Irreversibilidade	Desvios que não podem ser totalmente recuperados
Entropia	Grau de desordem, incerteza ou imprevisibilidade contratual
Volume de Controle	Contrato ou projeto delimitado pelo escopo, prazo, orçamento e responsabilidades

Fonte: Pesquisa direta (2026) com base em Mendes (2006) e Çengel e Ghajar (2012).

A análise da eficiência contratual pode ser fortalecida pela utilização de uma estrutura de cálculo que organize a relação entre custo planejado, custo real e fatores de interferência contratual. Essa proposta mantém coerência com a abordagem de Mendes (2006), ao considerar que a eficiência pode ser compreendida pela comparação entre uma condição planejada e uma condição real. No contexto contratual, o custo planejado representa a condição de referência, enquanto o custo real representa o desempenho efetivamente observado durante a execução.

Além da comparação financeira direta, a análise contratual também deve considerar fatores gerenciais e operacionais que podem reduzir a eficiência, tais como atrasos, retrabalhos, falhas de qualidade, mudanças de escopo, riscos não tratados, baixa produtividade, atrasos de fornecimento e condições externas. Esses fatores podem ser interpretados como perdas ou irreversibilidades gerenciais, pois afastam a execução do contrato de sua condição originalmente planejada (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2008; MENDES, 2006).

Essa interpretação aproxima-se dos fundamentos da Termodinâmica, uma vez que, em processos reais, parte da energia disponível não é convertida integralmente em trabalho útil devido às perdas e irreversibilidades do sistema (ÇENGEL; GHAJAR, 2012). De forma análoga, nos contratos, parte dos recursos planejados pode não ser convertida diretamente em entregas úteis em razão de desvios de execução, falhas de controle ou incertezas do processo (COHEN KASHI; ROZENES; BEN-GAL, 2020).

Nesse contexto, a proposta de cálculo da eficiência contratual não deve ser compreendida como uma equivalência física direta entre contratos e sistemas termodinâmicos, mas como uma analogia conceitual fundamentada em Mendes (2006). O contrato é interpretado como um sistema gerencial de transformação de recursos em entregas, no qual perdas, desvios e interferências podem reduzir a eficiência final do processo.

2.7 Avaliação contratual ponderada

A avaliação contratual ponderada proposta neste trabalho foi elaborada pelo autor com base nos conceitos de eficiência, riscos, perdas e incerteza discutidos na literatura. A lógica consiste em partir do custo planejado e atribuir pesos aos fatores que podem gerar perdas. Cada fator recebe uma nota de impacto, permitindo estimar um custo equivalente de perda e calcular um percentual final de eficiência contratual.

A escolha dos fatores está fundamentada nos conceitos de gerenciamento de projetos, riscos, aquisições, eficiência e entropia. Prazo, qualidade, escopo, risco, retrabalho, maturidade do fornecedor e incerteza são fatores que podem aumentar o custo real ou reduzir a capacidade do contrato de converter recursos planejados em entregas úteis.

A proposta não substitui uma análise financeira completa, mas oferece um instrumento para relacionar aspectos gerenciais e técnicos ao custo. Dessa forma, mesmo em contratos ainda em andamento, pode-se estimar a tendência de perda de eficiência com base nos fatores observados, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Pesos propostos para os fatores que interferem no contrato

Fator	Peso sugerido (%)	Justificativa
Custo direto	25	Representa o desvio financeiro observado ou estimado em relação ao custo planejado
Prazo	15	Atrasos aumentam mobilização, interferem no cronograma e podem gerar custos indiretos
Qualidade	15	Não conformidades geram retrabalho e comprometem a aceitação das entregas

Retrabalho	15	Consome novamente mão de obra, materiais, equipamentos e tempo
Risco não tratado	10	Eventos incertos aumentam a imprevisibilidade e podem gerar perdas futuras
Escopo	10	Mudanças sem controle afetam custo, prazo e qualidade
Maturidade do fornecedor	5	Baixa maturidade reduz previsibilidade, controle e capacidade de resposta
Incerteza	5	Maior incerteza dificulta a previsão do desempenho e aumenta necessidade de monitoramento

Fonte: Pesquisa direta (2026).

A tabela ponderada também fundamenta a construção do aplicativo proposto como apoio à aplicação dos cálculos. A ferramenta utiliza os mesmos parâmetros definidos neste trabalho, permitindo inserir pesos, notas de impacto, custo planejado, custo real e coeficiente de conversão para obter a eficiência contratual final ponderada.

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho. Os tópicos abordados incluem o tipo de pesquisa, materiais e métodos, variáveis e indicadores, instrumento de coleta de dados, tabulação e análise dos dados e considerações finais do capítulo.

3.1 Tipo de pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se como bibliográfica, qualitativa, exploratória e descritiva. A classificação bibliográfica decorre do fato de o estudo ser desenvolvido com base em materiais já publicados, como livros, dissertações, artigos científicos e guia técnico relacionados ao tema.

De acordo com Minayo (2003), a pesquisa qualitativa é adequada quando o estudo busca compreender significados, interpretações, relações conceituais e fenômenos que não

podem ser reduzidos apenas a dados numéricos. Nesse sentido, a abordagem qualitativa adotada neste trabalho justifica-se pela análise conceitual da relação entre Termodinâmica, gerenciamento de projetos e eficiência contratual, sem a realização de mensuração empírica em uma organização específica.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é exploratória, pois busca aprofundar a compreensão sobre a aplicação da analogia entre Termodinâmica e gerenciamento de projetos na avaliação da eficiência contratual. Segundo Vergara (2011), a pesquisa exploratória é indicada quando há necessidade de ampliar a compreensão sobre determinado tema, especialmente quando se busca construir maior familiaridade com o problema investigado. A pesquisa descritiva, por sua vez, permite expor características de determinado fenômeno ou estabelecer relações entre variáveis. Dessa forma, este trabalho assume caráter exploratório e descritivo, pois busca compreender a aplicação conceitual da analogia termodinâmica à gestão contratual e organizar os fatores que interferem na eficiência dos contratos.

Dessa forma, o estudo é classificado como revisão bibliográfica qualitativa, exploratória e descritiva, com foco na proposição de uma tabela ponderada para análise conceitual da eficiência contratual.

3.2 Materiais e Métodos

Os materiais utilizados nesta pesquisa correspondem às obras selecionadas para fundamentar a revisão bibliográfica. A escolha dessas fontes considerou sua relevância para os temas centrais do trabalho: gerenciamento de projetos, gestão contratual, eficiência, riscos, Termodinâmica, entropia e monitoramento de projetos.

A bibliografia principal para a construção da analogia foi a dissertação de Mendes (2006), que propõe uma relação entre conceitos da Termodinâmica e o gerenciamento de projetos. Como suporte para gerenciamento de projetos, utilizou-se o Guia PMBOK, do *Project Management Institute* (2008). Para os fundamentos termodinâmicos, utilizou-se a obra de Çengel e Ghajar (2012). Para fortalecer a discussão sobre entropia e incerteza em projetos, utilizaram-se Cohen Kashi, Rozenes e Ben-Gal (2020) e Pourrahimian *et al.* (2025).

Na versão com referência clássica adicional sobre entropia aplicada a projetos, também foi incorporado o estudo de Bushuyev e Sochnev (1999), que discute a entropia como ferramenta de controle em projetos.

Além da revisão bibliográfica, propõe-se o desenvolvimento de uma aplicação, como apoio à sistematização dos cálculos apresentados no trabalho. A ferramenta é estruturada a partir das equações definidas para eficiência financeira contratual, desvio financeiro absoluto, desvio financeiro percentual, índice ponderado de interferência contratual, custo equivalente, custo ajustado e eficiência contratual final ponderada.

O objetivo do aplicativo é permitir a inserção dos dados do contrato e a obtenção automática dos resultados, mantendo a mesma lógica metodológica apresentada na pesquisa. Para isso, a aplicação contempla campos para identificação do contrato, inserção do custo planejado, custo real, coeficiente de conversão, pesos dos fatores de interferência e notas de impacto. A partir desses dados, a ferramenta calcula os indicadores definidos no trabalho e apresenta uma classificação com base na régua de eficiência proposta.

Ressalta-se que o aplicativo possui caráter complementar e demonstrativo. Sua finalidade não é validar empiricamente a metodologia nem substituir a análise técnica do gestor, mas facilitar a aplicação das equações, reduzir erros operacionais de cálculo e demonstrar a possibilidade prática de uso da proposta em avaliações contratuais.

3.3 Variáveis e indicadores

As variáveis e indicadores foram definidos a partir da literatura revisada e da proposta de avaliação contratual ponderada. A variável principal é a eficiência contratual, entendida como a relação entre o custo planejado, o custo real e os fatores que interferem no desempenho do contrato. Os indicadores utilizados são: custo planejado, custo real, desvio financeiro, prazo, qualidade, retrabalho, risco não tratado, escopo, maturidade do fornecedor e incerteza ou entropia contratual. Esses indicadores permitem transformar fatores gerenciais em impactos de custo estimados, de modo a obter uma porcentagem final de eficiência conforme se observa nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4 - Variáveis e indicadores da pesquisa

Variáveis	Indicadores
Eficiência contratual	Custo planejado; custo real; custo ajustado; percentual de eficiência
Fatores de interferência	Prazo; qualidade; retrabalho; risco; escopo; maturidade do fornecedor; incerteza/entropia

Perdas contratuais	Atrasos; aditivos; não conformidades; custos adicionais; desperdícios
Monitoramento contratual	Pontuação dos fatores; peso atribuído; custo equivalente de perda

Fonte: Pesquisa direta (2026).

Tabela 5 - Relação das variáveis e parâmetros da proposta com a analogia termodinâmica

Variável	Descrição na proposta	Relação com a Termodinâmica
C_p	Custo planejado do contrato	Condição ideal de referência do sistema, semelhante à energia disponível prevista para produzir trabalho útil.
C_r	Custo real do contrato	Recurso efetivamente consumido pelo sistema real durante a execução.
η_c	Eficiência financeira contratual	Rendimento inicial obtido pela comparação entre condição planejada e condição real.
D_f	Desvios financeiro absoluto e percentual	Afastamento entre comportamento ideal e comportamento real, associado às perdas do processo.
P_i e N_i	Peso e nota de impacto do fator i	Relevância e intensidade de cada mecanismo de perda ou interferência.
I_{PIC}	Índice ponderado de interferência contratual	Grau de desordem, incerteza ou interferência, em analogia ao aumento de entropia gerencial.
k	Coefficiente de conversão	Parâmetro de ajuste que converte interferências qualitativas em impacto equivalente.
C_{e_q}	Custo equivalente dos fatores	Perda equivalente do processo, convertida em valor monetário estimado.

$C_{e_{qi}}$	Custo equivalente associado ao fator i	Parcela da perda equivalente atribuída a um mecanismo específico de interferência.
C_{AJ}	Custo ajustado do contrato	Custo real acrescido das perdas equivalentes.
η_{C_f}	Eficiência contratual final ponderada	Rendimento global ajustado do contrato, considerando custo real e perdas associadas aos fatores.

Fonte: Pesquisa direta (2026).

3.4 Instrumento de coleta de dados

Por se tratar de uma revisão bibliográfica, o instrumento de coleta de dados consistiu na seleção, leitura e organização de referências científicas, técnicas e acadêmicas relacionadas ao tema. As informações foram extraídas de livros, dissertação, artigos científicos e guia técnico, considerando sua aderência ao problema de pesquisa.

Cooper e Schindler (2003) destacam que a definição adequada das fontes de informação e dos procedimentos de coleta é fundamental para garantir coerência entre o problema de pesquisa, os objetivos e a análise desenvolvida. Neste trabalho, essa orientação foi aplicada por meio da seleção de referências diretamente relacionadas aos eixos centrais da pesquisa: gerenciamento de projetos, gestão de contratos, eficiência, Termodinâmica, entropia, riscos e fatores de interferência contratual.

3.5 Tabulação e análise dos dados

A tabulação dos dados foi realizada em forma de tabelas e fórmulas. A análise foi conduzida de modo conceitual, relacionando os fundamentos teóricos às variáveis da proposta de avaliação contratual. A tabela de cálculo desenvolvida permite atribuir pesos aos fatores que interferem no contrato, notas de impacto e custos equivalentes de perda.

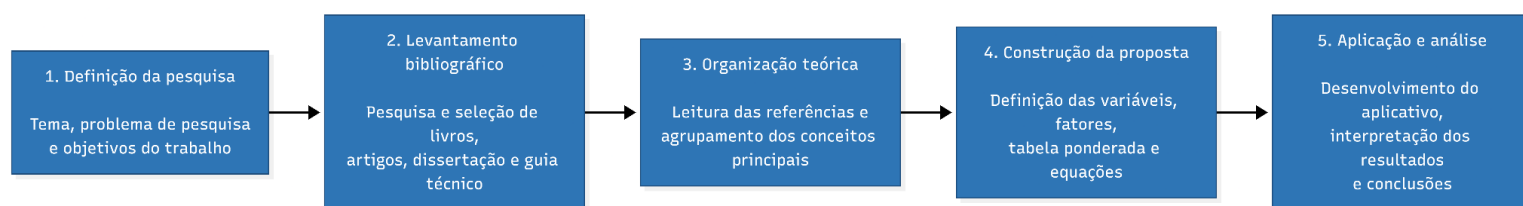
O cálculo final parte do custo planejado do contrato. Em seguida, cada fator recebe um peso percentual e uma nota de impacto de 0 a 5. O impacto ponderado do fator é convertido em custo equivalente de perda. Ao final, os custos equivalentes são somados ao custo real ou ao custo planejado, permitindo calcular a eficiência contratual final.

A tabulação também considera a régua de eficiência contratual adotada na proposta. A eficiência contratual final ponderada é classificada como excelente, satisfatória, em atenção ou crítica, conforme o percentual obtido. Essa régua possui caráter interpretativo e foi elaborada como referência analítica do autor para apoiar a leitura dos resultados.

O aplicativo reproduz essa sequência de cálculo, permitindo que os dados inseridos pelo usuário sejam processados de forma padronizada. A ferramenta gera um arquivo de texto (.txt) com os principais indicadores, a classificação final e uma memória de cálculo com as fórmulas utilizadas.

Para organizar de forma mais clara o caminho metodológico adotado, foi elaborado um fluxograma com as principais etapas seguidas no desenvolvimento da pesquisa. A Figura 1 apresenta, de maneira resumida, a sequência utilizada desde a definição da pesquisa até a aplicação e análise da proposta.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia adotada



Fonte: Pesquisa direta (2026).

3.6 Considerações finais do capítulo

Este capítulo apresentou a classificação metodológica do estudo, os materiais utilizados, as variáveis e indicadores, o instrumento de coleta bibliográfica e a forma de tabulação e análise dos dados. No próximo capítulo são apresentados os resultados conceituais da pesquisa, com ênfase na aplicação do modelo de eficiência contratual ponderada.

4 RESULTADOS

4.1 Características da proposta de avaliação contratual

A proposta de avaliação contratual desenvolvida neste trabalho parte da compreensão de que um contrato pode ser interpretado como um sistema de transformação. Nesse sistema, o custo planejado representa a condição de referência, enquanto o custo real e os fatores de interferência representam a condição efetivamente observada durante a execução.

As equações apresentadas no Capítulo 2 constituem a base conceitual da análise de eficiência adotada neste trabalho. Inicialmente, a eficiência financeira é discutida no âmbito geral do gerenciamento de projetos, por meio da relação entre custo planejado e custo real. No Capítulo 4, essa mesma lógica é adaptada para o contexto contratual, considerando o custo planejado do contrato e o custo real de sua execução. Dessa forma, a equação de eficiência contratual representa uma aplicação específica da equação geral de eficiência em projetos.

A Tabela 3 complementa essa análise ao considerar fatores que interferem no desempenho contratual, como atrasos, retrabalhos, falhas de qualidade, mudanças de escopo e riscos não tratados. Assim, enquanto a equação expressa quantitativamente o nível de eficiência financeira, a tabela auxilia na interpretação das causas que contribuíram para o afastamento entre o desempenho planejado e o desempenho real.

4.2 Aplicação do modelo de eficiência contratual ponderada

A proposta apresentada neste tópico deve ser compreendida como uma estrutura analítica de apoio à avaliação contratual. As equações utilizadas não pretendem substituir os métodos tradicionais de controle de contratos, mas complementar a análise ao relacionar custos planejados, custos reais e fatores de interferência que podem reduzir a eficiência da execução.

A sequência de cálculo adotada parte da eficiência financeira contratual, obtida pela comparação entre custo planejado e custo real. Em seguida, são calculados os desvios absolutos e percentual, o índice ponderado de interferência contratual, o custo equivalente dos fatores de interferência, o custo ajustado e, por fim, a eficiência contratual final ponderada. Essa ordem permite que a análise avance de uma avaliação estritamente financeira para uma avaliação mais sistêmica, incorporando fatores gerenciais e operacionais que também afetam o desempenho do contrato.

Para evitar duplicidade metodológica, todas as equações apresentadas a seguir correspondem à mesma sequência utilizada no aplicativo. As equações de eficiência e desvio são adaptações conceituais da relação entre desempenho planejado e desempenho real discutida por Mendes (2006), enquanto os fatores ponderados e o custo equivalente foram elaborados pelo autor com base nos conceitos de perdas, irreversibilidades e incerteza discutidos por Çengel e Ghajar (2012), *Project Management Institute* (2008), Cohen Kashi, Rozenes e Ben-Gal (2020), Bushuyev e Sochnev (1999) e Pourrahimian *et al.* (2025).

Na Equação 5, D_f representa o desvio financeiro absoluto do contrato. Quando o resultado é positivo, há sobrecusto contratual. Quando o resultado é igual a zero, há aderência ao planejamento financeiro. Quando o resultado é negativo, o contrato foi executado com custo inferior ao previsto.

$$D_f = C_r - C_p \quad (5)$$

Fonte: Pesquisa direta (2026).

Na Equação 6, $D_{f\%}$ representa o desvio financeiro percentual do contrato, expressando proporcionalmente o afastamento entre o custo real e o custo planejado.

$$D_{f\%} = \left(\frac{C_r - C_p}{C_p} \right) \cdot 100 \quad (6)$$

Fonte: Pesquisa direta (2026).

Na Equação 7, I_{PIC} representa o índice ponderado de interferência contratual. O termo P_i representa o peso atribuído ao fator de interferência i , enquanto N_i representa a nota de impacto atribuída ao mesmo fator, em uma escala de 0 a 5.

$$I_{PIC} = \left[\frac{\sum \left(P_i \cdot \frac{N_i}{5} \right)}{\sum P_i} \right] \cdot 100 \quad (7)$$

Fonte: Pesquisa direta (2026).

Na Equação 8, C_{e_q} representa o custo equivalente dos fatores de interferência. O termo k representa o coeficiente de conversão dos fatores em custo equivalente. Neste trabalho, propõe-se $k = 0,25$, ou 25%, como valor-padrão de referência, por representar uma conversão moderada dos fatores qualitativos em impacto financeiro estimado.

$$C_{e_q} = \left[C_p \cdot \left(\frac{I_{PIC}}{100} \right) \right] \cdot k \quad (8)$$

Fonte: Pesquisa direta (2026).

O coeficiente de conversão k deve ser escolhido de acordo com o grau de complexidade, risco e incerteza do contrato. Essa escolha está relacionada à analogia proposta por Mendes (2006), segundo a qual a eficiência do projeto pode ser analisada pela comparação entre a condição planejada e o desempenho efetivamente observado. Assim, quanto menor for a possibilidade de afastamento entre o planejamento e a execução, menor deverá ser o valor de k .

Contratos simples, padronizados, com escopo estável e baixo risco podem utilizar $k = 0,10$; contratos de complexidade e risco moderados podem utilizar $k = 0,25$; contratos complexos, críticos ou sujeitos a elevada incerteza podem utilizar $k = 0,50$; e o valor $k = 1,00$ deve ser reservado para situações excepcionais, nas quais os fatores de interferência possam comprometer de forma significativa a execução contratual. Ressalta-se que Mendes (2006) fundamenta a relação entre desempenho planejado e desempenho real, enquanto o coeficiente k e suas faixas de aplicação constituem uma proposição metodológica deste trabalho. A Tabela 6 a seguir apresenta a interpretação dos valores propostos para esse coeficiente.

Tabela 6 - Interpretação do coeficiente de conversão k

Valor de k	Interpretação	Indicação de uso
0,10	Baixa conversão dos fatores qualitativos em custo equivalente	Contratos simples ou de baixo risco
0,25	Conversão moderada	Valor padrão proposto para análise geral

0,50	Conversão alta	Contratos críticos, complexos ou com forte impacto operacional
1,00	Conversão máxima	Situações excepcionais em que os fatores qualitativos possuem impacto financeiro muito elevado

Fonte: Pesquisa direta (2026).

Além do custo equivalente total, também é possível identificar a parcela de custo equivalente associada a cada fator de interferência. Essa relação permite compreender quais fatores apresentam maior participação na perda estimada de eficiência contratual.

Na Equação 9, $C_{e_{qi}}$ representa o custo equivalente associado ao fator i . O termo C_{e_q} representa o custo equivalente total dos fatores de interferência. O termo P_i representa o peso atribuído ao fator i , enquanto N_i representa sua nota de impacto. Essa equação permite distribuir o custo equivalente total entre os fatores avaliados.

$$C_{e_{qi}} = C_{e_q} \cdot \left[\frac{\left(P_i \cdot \frac{N_i}{5} \right)}{\sum \left(P_i \cdot \frac{N_i}{5} \right)} \right] \quad (9)$$

Fonte: Pesquisa direta (2026).

Na Equação 10, C_{AJ} representa o custo ajustado do contrato. O termo C_r corresponde ao custo real do contrato, enquanto C_{eq} representa o custo equivalente dos fatores de interferência. O custo ajustado permite analisar o contrato considerando tanto o custo efetivamente realizado quanto os impactos estimados dos fatores que interferiram no desempenho contratual.

$$C_{AJ} = C_r + C_{eq} \quad (10)$$

Fonte: Pesquisa direta (2026).

Na Equação 11, η_{C_f} representa a eficiência contratual final ponderada. O termo C_p representa o custo planejado do contrato, enquanto C_{Aj} representa o custo ajustado, composto pelo custo real acrescido do custo equivalente dos fatores de interferência.

$$\eta_{C_f} = \frac{C_p}{C_{Aj}} \quad (11)$$

Fonte: Pesquisa direta (2026).

Para interpretar o resultado obtido pela eficiência contratual final ponderada, propõe-se uma régua de avaliação da eficiência contratual. Essa régua possui caráter classificatório e foi elaborada como apoio à interpretação dos resultados da metodologia proposta. Portanto, não deve ser compreendida como norma técnica universal, mas como uma referência analítica para auxiliar a tomada de decisão gerencial conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Régua de interpretação da eficiência contratual final

Eficiência contratual final	Classificação	Interpretação
$\eta_{C_f} \geq 90\%$	Excelente	Alta aderência entre planejamento e execução, com baixo impacto dos fatores de interferência
$75\% \leq \eta_{C_f} < 90\%$	Satisfatória	Desempenho aceitável, com perdas controláveis e necessidade de acompanhamento
$60\% \leq \eta_{C_f} < 75\%$	Em atenção	Perdas relevantes, exigindo análise dos principais desvios e ações corretivas
$\eta_{C_f} < 60\%$	Crítica	Baixa eficiência, com forte afastamento entre planejamento e execução

Fonte: Pesquisa direta (2026).

As relações apresentadas na tabela 8 a seguir possuem caráter analógico e conceitual. O contrato não é tratado como um sistema termodinâmico em sentido físico estrito, mas como um sistema gerencial de transformação de recursos em entregas.

Tabela 8 - Relação entre as variáveis da proposta e a analogia termodinâmica

Variável	Relação com a Termodinâmica
C_p	Condição ideal de referência do sistema, semelhante à energia disponível prevista para produzir trabalho útil.
C_r	Recurso efetivamente consumido pelo sistema real durante a execução.
η_c	Rendimento inicial obtido pela comparação entre condição planejada e condição real.
D_f^ϵ	Afastamento entre comportamento ideal e comportamento real, associado às perdas do processo.
$P_i e N_i$	Relevância e intensidade de cada mecanismo de perda ou interferência.
I_{PII}	Grau de desordem, incerteza ou interferência, em analogia ao aumento de entropia gerencial.
k	Parâmetro de ajuste que converte interferências qualitativas em impacto equivalente.
C_{e_q}	Perda equivalente do processo, convertida em valor monetário estimado.
$C_{e_{qi}}$	Parcela da perda equivalente atribuída a um mecanismo específico de interferência.
C_{AJ}	Custo real acrescido das perdas equivalentes.
η_{C_f}	Rendimento global ajustado do contrato, considerando custo real e perdas associadas aos fatores.

Fonte: Pesquisa direta (2026).

Como apoio à aplicação da proposta, está sendo desenvolvido um aplicativo para operacionalizar os cálculos apresentados neste tópico. A ferramenta permite inserir os dados de identificação do contrato, o custo planejado, o custo real, o coeficiente de conversão k , os pesos dos fatores de interferência e as notas de impacto.

O aplicativo segue a mesma sequência de cálculo apresentada no trabalho, contemplando a eficiência financeira contratual, o desvio financeiro absoluto, o desvio financeiro percentual, o índice ponderado de interferência contratual, o custo equivalente, o custo ajustado e a eficiência contratual final ponderada. A ferramenta também apresenta a classificação do resultado conforme a régua de eficiência proposta.

Ressalta-se que o aplicativo possui função complementar e demonstrativa. Sua finalidade é facilitar a aplicação da tabela ponderada, reduzir erros de cálculo e organizar os resultados da avaliação. Portanto, a ferramenta não substitui a análise crítica do gestor ou da equipe técnica responsável pelo contrato.

Dessa forma, não há divergência entre a metodologia descrita no texto e a lógica utilizada no aplicativo: ambos utilizam a mesma sequência de cálculo, os mesmos parâmetros e a mesma régua de interpretação. As equações que não foram extraídas diretamente da literatura foram construídas pelo autor como proposições metodológicas, sempre fundamentadas na analogia entre eficiência, perdas, irreversibilidades, incerteza e controle de projetos.

As Figuras 2 e 3 apresentam as interfaces de preenchimento do aplicativo. Na Figura 2 são inseridos os dados gerais do contrato, enquanto a Figura 3 reúne os fatores de interferência, seus pesos e as respectivas notas de impacto.

Figura 2 - Interface de preenchimento de informações no aplicativo



Calculadora de Eficiência Contratual

1. Dados gerais do contrato

Nome do contrato

Montagem Eletromecânica de Correias Transportadoras

Número do contrato

MCT-TCLD18-AA-1945

Objeto do contrato

Montagem Eletromecânica, fornecimento, engenharia e comissionamento

Responsável pela avaliação

Nome do avaliador

Custo planejado do contrato — Cpc (R\$)

245723791,00

Custo real do contrato — Crc (R\$)

249898831,00

Coefficiente de conversão — k (%)

25

Data da avaliação

12/06/2026

No texto do TCC, recomenda-se k = 25% como valor-padrão para conversão moderada.

Observações sobre o contrato

O modelo de contratação utilizado, foi o modelo EPC. Onde a contratada fornecerá os serviços de Engenharia, planejamento e construção de todo o ativo.

Calcular eficiência

Zerar dados

Adicionar fator

Imprimir relatório

Fonte: Pesquisa direta (2026).

Na sequência, o usuário define os fatores de interferência, bem como os pesos e a nota atribuída a cada fator, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Interface de preenchimento da tabela ponderada

2. Tabela ponderada de fatores que interferem no contrato

Fator de interferência	Relação com o contrato	Peso Pi (%)	Nota Ni (0 a 5)	Pi × Ni/5	Custo equivalente associado	Ação
Atraso no cronograma	Aumenta custos de mobilização e	25	1	5,00	R\$ 3.233.207,78	Remover
Retrabalho	Consome novamente recursos já	20	1	4,00	R\$ 2.586.566,22	Remover
Falha de qualidade	Gera correções, rejeições ou não	15	1	3,00	R\$ 1.939.924,67	Remover
Mudança de escopo	Altera as condições originalmente	10	0	0,00	R\$ 0,00	Remover
Risco não tratado	Pode gerar impactos não previsto	5	1	1,00	R\$ 646.641,56	Remover
Baixa produtividade	Aumenta o tempo de execução da	5	0	0,00	R\$ 0,00	Remover
Atraso de fornecimento	Pode gerar paralisações e replan	10	1	2,00	R\$ 1.293.283,11	Remover
Condições externas	Inclui clima, acesso, interfaces e r	5	1	1,00	R\$ 646.641,56	Remover

O índice ponderado de interferência contratual é calculado por: $I_{pic} = [\sum (P_i \times N_i/5) / \sum P_i] \times 100$.

Fonte: Pesquisa direta (2026).

4.3 Resultados obtidos

A partir da estrutura proposta, os resultados da análise de eficiência contratual podem ser obtidos por meio da aplicação sequencial das equações e da tabela ponderada. O primeiro resultado gerado é a eficiência financeira contratual, calculada pela relação entre custo planejado e custo real. Esse indicador permite verificar se o contrato foi executado dentro do orçamento previsto ou se houve sobrecusto.

O segundo resultado obtido é o desvio financeiro absoluto e percentual. Esses indicadores permitem quantificar o afastamento entre planejamento e execução. O desvio absoluto mostra a diferença monetária entre custo real e custo planejado, enquanto o desvio percentual permite comparar esse afastamento de forma proporcional.

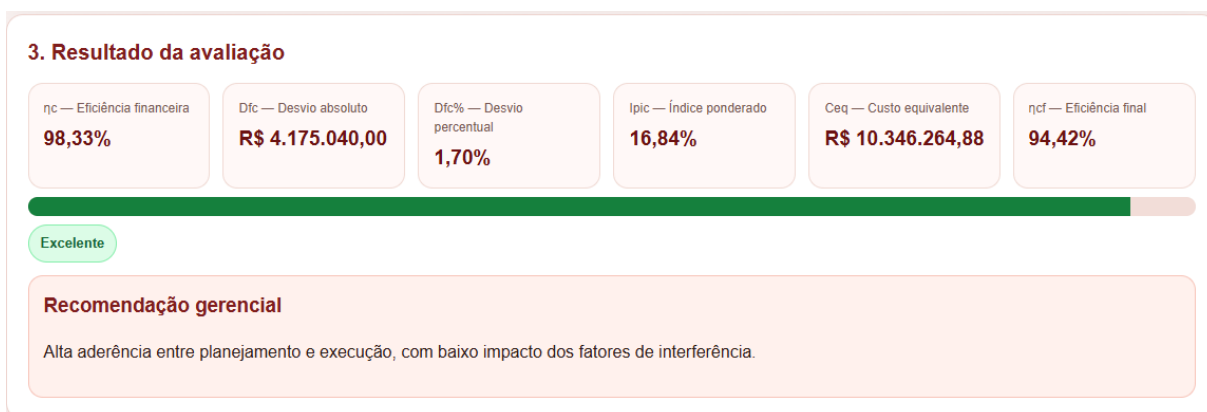
O terceiro resultado é o índice ponderado de interferência contratual. Esse índice representa o impacto dos fatores gerenciais e operacionais sobre o contrato. Diferentemente da eficiência financeira, que considera apenas valores monetários, o índice ponderado permite considerar fatores como atraso, retrabalho, qualidade, escopo, produtividade, fornecimento, condições externas e riscos.

O quarto resultado é o custo equivalente dos fatores de interferência. Esse valor permite converter, de forma estimada, os impactos qualitativos e operacionais em uma unidade monetária de análise. Também é possível identificar o custo equivalente associado a cada fator, verificando quais elementos mais contribuíram para a perda estimada de eficiência.

Com a soma do custo real e do custo equivalente, obtém-se o custo ajustado do contrato. Por fim, a eficiência contratual final ponderada representa o resultado consolidado da análise, permitindo classificar o contrato conforme a régua de eficiência proposta.

Esses resultados podem ser observados ao final do aplicativo, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Resultado dos cálculos efetuados no aplicativo



Fonte: Pesquisa direta (2026).

Complementarmente, ao final da análise realizada no aplicativo, é possível gerar um arquivo de texto (.txt) em formato de relatório, permitindo o registro e a comparação posterior dos resultados contratuais. A Figura 5 apresenta o relatório gerado.

Figura 5 - Relatório de eficiência contratual gerado

Relatório de Eficiência Contratual

1. Identificação do contrato

Nome do contrato: Montagem Eletromecânica de Correias Transportadoras

Número do contrato: MCT-TCLD18-AA-1945

Objeto: Montagem Eletromecânica, fornecimento, engenharia e comissionamento

Responsável pela avaliação: -

Data da avaliação: 2026-06-12

2. Dados financeiros inseridos

Custo planejado do contrato (Cpc): R\$ 245.723.791,00

Custo real do contrato (Crc): R\$ 249.898.831,00

Coefficiente de conversão (k): 25,00%

3. Fatores avaliados

Fator	Peso PI (%)	Nota NI	PI x NI/5	Custo equivalente associado
Atraso no cronograma	25	1	5,00	R\$ 3.233.207,78
Retrabalho	20	1	4,00	R\$ 2.586.566,22
Falha de qualidade	15	1	3,00	R\$ 1.939.924,67
Mudança de escopo	10	0	0,00	R\$ 0,00
Risco não tratado	5	1	1,00	R\$ 646.641,56
Baixa produtividade	5	0	0,00	R\$ 0,00
Atraso de fornecimento	10	1	2,00	R\$ 1.293.283,11
Condições externas	5	1	1,00	R\$ 646.641,56

4. Resultado da avaliação

η_c — Eficiência financeira: 98,33%

Dfc — Desvio financeiro absoluto: R\$ 4.175.040,00

Dfc% — Desvio financeiro percentual: 1,70%

Ipic — Índice ponderado de interferência: 16,84%

Ceq — Custo equivalente dos fatores: R\$ 10.346.264,88

Caj — Custo ajustado do contrato: R\$ 260.245.095,88

η_{cf} — Eficiência contratual final: 94,42%

Classificação: Excelente

4.4 Análise da eficiência contratual

A análise da eficiência contratual proposta neste trabalho demonstra que a avaliação de contratos deve ir além do controle financeiro tradicional. Embora a comparação entre custo planejado e custo real seja essencial, ela não é suficiente para explicar todas as perdas que podem ocorrer durante a execução contratual.

O *Project Management Institute* (2008) destaca que projetos são influenciados por restrições de escopo, prazo, custo, qualidade, recursos e riscos. Essas restrições também estão presentes na gestão de contratos, principalmente quando os contratos estão vinculados à execução de projetos, serviços técnicos, obras, fornecimentos ou atividades de apoio operacional.

A analogia com a Termodinâmica contribui para compreender esse fenômeno. Em sistemas reais, a eficiência é reduzida por perdas e irreversibilidades que impedem a conversão integral da energia disponível em trabalho útil (ÇENGEL; GHAJAR, 2012). De forma semelhante, nos contratos, os recursos planejados podem não ser integralmente convertidos em entregas úteis em razão de retrabalhos, atrasos, falhas de comunicação, baixa produtividade, mudanças de escopo, falhas de qualidade ou riscos não controlados.

Mendes (2006) propõe que a eficiência em projetos pode ser analisada por meio da comparação entre o desempenho planejado e o desempenho real, utilizando uma analogia com a eficiência termodinâmica. Essa lógica foi adaptada neste trabalho para a gestão contratual, considerando o custo planejado como condição de referência e o custo real como condição observada.

A inclusão de fatores ponderados também se relaciona aos estudos sobre entropia, incerteza e controle em projetos. Bushuyev e Sochnev (1999) discutem a entropia como ferramenta de controle; Cohen Kashi, Rozenes e Ben-Gal (2020) reforçam que o acompanhamento de projetos pode contribuir para reduzir incertezas; e Pourrahimian *et al.* (2025) apontam que estruturas baseadas em entropia podem contribuir para compreender a dinâmica de projetos em ambientes sujeitos a atrasos, variações e imprevisibilidades.

A proposta integra três dimensões principais: a dimensão financeira, representada pela comparação entre custo planejado e custo real; a dimensão gerencial, representada pelos fatores de interferência contratual; e a dimensão interpretativa, representada pela analogia

termodinâmica, que permite compreender esses fatores como perdas, irreversibilidades ou aumento da desordem do sistema contratural. A régua de eficiência proposta também contribui para a interpretação dos resultados, pois transforma a eficiência contratural final ponderada em uma classificação gerencial. Essa classificação não deve ser interpretada como norma técnica geral, mas como referência proposta para apoiar a leitura dos resultados.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

O presente trabalho teve como propósito analisar a utilização da analogia entre os princípios da Termodinâmica e o gerenciamento de projetos como ferramenta conceitual para avaliação da eficiência em contratos. A partir dessa abordagem, buscou-se compreender de que forma conceitos como eficiência, perdas, irreversibilidades e entropia podem auxiliar na interpretação do desempenho contratual, considerando a relação entre custo planejado, custo real e fatores que interferem na execução dos contratos. Desse modo, realizou-se uma revisão bibliográfica abrangente, abordando conceitos relacionados ao gerenciamento de projetos, gestão de contratos, riscos, incerteza, entropia, fundamentos termodinâmicos e avaliação contratual ponderada. Essa fundamentação permitiu compreender que contratos vinculados a projetos podem ser interpretados como sistemas de transformação, nos quais recursos financeiros, humanos, materiais, técnicos e informacionais são aplicados para gerar entregas previamente definidas em termos de escopo, prazo, custo e qualidade.

A aplicação da metodologia proposta tornou possível responder à pergunta central do trabalho: **Como a analogia entre os princípios da Termodinâmica e o gerenciamento de projetos pode contribuir para a avaliação da eficiência em contratos, considerando o custo planejado, o custo real e os fatores que interferem no desempenho contratual?**

A revisão desenvolvida demonstrou que a analogia termodinâmica pode contribuir para uma análise mais sistêmica da eficiência contratual. Em sistemas termodinâmicos reais, nem toda energia disponível é convertida em trabalho útil, pois existem perdas, irreversibilidades e degradação da capacidade de realização de trabalho. De forma semelhante, em contratos, nem todos os recursos planejados são convertidos diretamente em entregas efetivas, pois podem ocorrer atrasos, retrabalhos, falhas de qualidade, mudanças de escopo, riscos não tratados, baixa produtividade, atrasos de fornecimento e condições externas. Com base nessa compreensão, foi proposta uma tabela ponderada para avaliação da eficiência contratual. A tabela relaciona o custo planejado, o custo real e os fatores de interferência por meio de pesos e notas de impacto. A partir dessa estrutura, tornou-se possível calcular a eficiência financeira contratual, o desvio financeiro absoluto, o desvio financeiro percentual, o índice ponderado de interferência contratual, o custo equivalente, o custo equivalente associado a cada fator, o custo ajustado e a eficiência contratual final ponderada.

Além disso, a régua de eficiência proposta permitiu classificar o resultado final da análise em quatro faixas: excelente, satisfatória, em atenção e crítica. Essa classificação contribui para transformar o percentual de eficiência em uma interpretação gerencial, auxiliando na identificação do nível de aderência entre planejamento e execução. Entretanto, destaca-se que essa régua não deve ser compreendida como norma técnica universal, mas como uma referência analítica proposta pelo autor para apoiar a leitura dos resultados.

Como contribuição complementar, foi desenvolvido um aplicativo para operacionalizar os cálculos apresentados no trabalho. A ferramenta permite inserir os dados do contrato, aplicar as equações propostas, gerar a memória de cálculo e apresentar a classificação final com base na régua de eficiência. É ressaltado, porém, que o aplicativo não constitui o objetivo central da pesquisa, mas um recurso de apoio à aplicação prática da metodologia. Entretanto, a proposta desenvolvida apresenta limitações. A principal limitação está no fato de que a metodologia não foi aplicada em contratos reais, tratando-se de uma revisão bibliográfica com proposição conceitual. Além disso, o coeficiente de conversão, adotado como valor-padrão de referência, deve ser compreendido como um parâmetro inicial, passível de calibração conforme o tipo de contrato, o histórico da organização, o grau de criticidade e a complexidade da execução contratual.

Dessa forma, os objetivos propostos neste trabalho foram atingidos, demonstrando a relevância da analogia entre Termodinâmica e gerenciamento de projetos como abordagem complementar para avaliação da eficiência em contratos. A proposta não substitui os métodos tradicionais de gestão contratual, mas oferece uma forma estruturada de relacionar planejamento, execução, custos, perdas e fatores de interferência, contribuindo para análises mais objetivas, comparáveis e integradas no contexto da gestão de contratos.

5.2 Recomendações

Com base na análise desenvolvida neste estudo, são sugeridos os seguintes temas para investigações futuras:

- i) Aplicação da tabela ponderada de eficiência contratual em contratos reais de engenharia;
- ii) Calibração do coeficiente de conversão em contratos de diferentes níveis de complexidade;
- iii) Desenvolvimento de aplicativo para a comparação de eficiência entre contratos.

- iv) Desenvolvimento de um sistema de acompanhamento em tempo real dos fatores de interferência do contrato analisado.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BUSHUYEV, S. D.; SOCHNEV, S. V. Entropy measurement as a project control tool. **International Journal of Project Management**, [S. l.], v. 17, n. 6, p. 343-350, Dec. 1999. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00049-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00049-0). Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00049-0](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00049-0). Acesso em: 17 jun. 2026.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

COHEN KASHI, S.; ROZENES, S.; BEN-GAL, I. Project Management Monitoring Based on Expected Duration Entropy. **Entropy**, Basel, v. 22, n. 8, p. 905, Aug. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/e22080905>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1099-4300/22/8/905>. Acesso em: 17 jun. 2026.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de pesquisa em administração**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

MENDES, A. C. **Cálculo da eficiência do gerenciamento de projetos utilizando uma analogia com a Termodinâmica**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-09032007-161439/>. Acesso em: 17 jun. 2026.

MINAYO, M. C. S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 22. ed. Petrópolis: Vozes, 2003.

POURRAHIMIAN, E. *et al.* Entropy-centric framework for understanding and managing project dynamics in construction. **Automation in Construction**, [S. l.], v. 170, p. 105928, Feb. 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105928>. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105928>. Acesso em: 17 jun. 2026.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos: Guia PMBOK®**. 4. ed. Newtown Square: Project Management Institute, 2008.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 13. ed. São Paulo: Atlas, 2011.