

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL**

CIRO HENRIQUE MACHADO RIBEIRO LOPES

**ANÁLISE INTEGRADA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTAÇÃO EM
OBRAS DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA: IMPACTO DAS CHUVAS NA
VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA**

BELO HORIZONTE

2026

CIRO HENRIQUE MACHADO RIBEIRO LOPES

**ANÁLISE INTEGRADA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTAÇÃO EM
OBRAS DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA: IMPACTO DAS CHUVAS NA
VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado no Curso de Graduação em
Engenharia de Produção Civil do Centro
Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Produção Civil.

Orientador: Flávio Padula

BELO HORIZONTE

2026

L864a Lopes, Ciro Henrique Machado Ribeiro
Análise integrada de planejamento e orçamentação em obras de movimentação de terra: impacto das chuvas na viabilidade técnico-econômica / Ciro Henrique Machado Ribeiro Lopes – 2026.
56 f. : il., gráfs., tabs.

Trabalho de conclusão de curso apresentado no curso de graduação no Programa de Graduação em Engenharia de Produção Civil.
Orientador: Flávio Renato Padula.
Bibliografia: f. 55-56.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil.

1. Indústria da construção civil – Administração – Teses. 2. Produção enxuta – Teses. 3. Engenharia geotécnica – Teses. 4. Planejamento da produção – Teses. 5. Controle de produção – Teses. 6. Produtividade – Teses. 7. Gestão da qualidade total – Teses. I. Padula, Flavio Renato. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD 624.151



FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC N° 5/2026 - DEC (11.56.07)

N° do Protocolo: 23062.034519/2026-18

Belo Horizonte-MG, 03 de julho de 2026.

CIRO HENRIQUE MACHADO RIBEIRO LOPES

**ANÁLISE INTEGRADA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTAÇÃO EM OBROAS DE
MOVIMENTAÇÃO DE TERRA: impacto das chuvas na viabilidade técnico-econômica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, do Campus Nova Gameleira, como parte do requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção Civil.

Aprovado em 15 de junho de 2026

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Flávio Renato de Góes Padula - Orientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Dr. Cláudio José Martins
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Msc. Eduardo de Oliveira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

**BELO HORIZONTE
2026**

(Assinado digitalmente em 06/07/2026 10:41)

CLAUDIO JOSE MARTINS
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DEC (11.56.07)
Matrícula: ###594#1

(Assinado digitalmente em 04/07/2026 10:35)

EDUARDO DE OLIVEIRA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO
DEC (11.56.07)
Matrícula: ###215#8

(Assinado digitalmente em 06/07/2026 14:10)

FLAVIO RENATO DE GOES PADULA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DEC (11.56.07)

Matrícula: ###536#9

(Assinado digitalmente em 06/07/2026 08:25)

Ciro Henrique Machado Ribeiro Lopes

DISCENTE

Matrícula: 2015#####9

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 5, ano: 2026, tipo: **FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC**, data de emissão: 03/07/2026 e o código de verificação: 988acae1d5



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
Av. Amazonas, 7675 – Bairro Nova Gameleira – Belo Horizonte - MG
Departamento de Engenharia Civil - Prédio 12 - Telefone: (31) 3319-6810 – secretaria@civil.cefetmg.br

TERMO DE ACEITE FINAL - ORIENTADOR

Titulo do TCC:	ANÁLISE INTEGRADA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENÇÃO EM OBRAS DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA: IMPACTO DAS CHUVAS NA VIABILIDADE TÉCNICO- ECONÔMICA
Data defesa:	15/06/2026
Discente:	Ciro Henrique Machado Ribeiro Lopes
Orientador:	Flávio Padula

Eu, **Ciro Henrique Machado Ribeiro Lopes** declaro que todas as sugestões de correção e melhoria indicadas pela banca de avaliação de meu Trabalho de Conclusão de Curso e acordadas com meu Prof. Orientador foram implementadas no texto e entregues ao mesmo, Prof(a). **Flávio Padula** para validação final.

Documento assinado digitalmente
gov.br **CIRO HENRIQUE MACHADO RIBEIRO LOPES**
Data: 26/06/2026 09:13:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

De acordo: Belo Horizonte, 26 de junho de 2026,

Assinatura do Discente

Declaro ter recebido e conferido a versão final do texto e que as sugestões de correção e melhorias indicadas pela banca e acatadas por mim foram implementadas.

Documento assinado digitalmente
gov.br **FLAVIO RENATO DE GOES PADULA**
Data: 26/06/2026 10:47:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

De acordo: Belo Horizonte, 26 de junho de 2026,

Assinatura do Orientador

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

CIRO HENRIQUE MACHADO RIBEIRO LOPES

**ANÁLISE INTEGRADA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTAÇÃO EM
OBRAS DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA: IMPACTO DAS CHUVAS NA
VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Programa de
Graduação em Engenharia de Produção
Civil do Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como
requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de
Produção Civil.

Aprovado em 15/06/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Flavio Padula – Orientador

Prof. Cláudio Martins

Prof. Eduardo Oliveira

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Carlos e Cristina, que sempre estiveram ao meu lado ao longo desta caminhada. Agradeço também aos meus professores e à instituição CEFET-MG, que contribuíram para a minha formação pessoal e profissional ao longo destes anos. Agradeço especialmente ao professor Flávio pela disponibilidade e dedicação durante a orientação deste trabalho. Deixo um abraço especial aos amigos que fiz no CEFET-MG, que sempre estiveram comigo durante a minha jornada acadêmica e que, tenho certeza, também estarão presentes em minha trajetória profissional.

RESUMO

As obras de terraplenagem são particularmente sensíveis às condições climáticas, uma vez que a ocorrência de chuvas pode comprometer a escavação, o transporte e a compactação dos solos, reduzindo a disponibilidade de horas produtivas e ampliando os custos de execução. Diante disso, este trabalho teve como objetivo analisar a influência da sazonalidade pluviométrica no planejamento e na orçamentação de uma obra hipotética de movimentação de terra, avaliando seus impactos sobre o prazo e o custo total do empreendimento. A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma abordagem quantitativo-descritiva, com base em dados históricos de precipitação registrados em Belo Horizonte, Minas Gerais, entre 2015 e 2024. Os eventos de chuva foram classificados conforme o volume diário precipitado e convertidos em períodos de paralisação por meio da aplicação de fatores de retomada. A partir desses parâmetros, foram calculadas as horas produtivas médias mensais e elaborados dois cronogramas de execução, considerando os mesmos quantitativos, equipamentos, mão de obra e produtividades, mas com datas de início distintas: junho, durante o período predominantemente seco, e novembro, no início da estação chuvosa. No cenário iniciado em junho, a obra apresentou duração de 81 dias corridos, equivalentes a 2,60 meses, e custo total estimado em R\$ 850.720,00. No cenário iniciado em novembro, a duração aumentou para 140 dias corridos, equivalentes a 4,6 meses, elevando o custo total para R\$ 1.505.120,00. A diferença de R\$ 654.400,00 representa um acréscimo aproximado de 76,92% no custo do empreendimento. Os resultados demonstram que a desconsideração da sazonalidade climática pode provocar subestimações relevantes de prazo e orçamento, comprometendo a viabilidade técnico-econômica das obras. Conclui-se que a incorporação de dados pluviométricos históricos e fatores de retomada constitui uma ferramenta acessível e eficaz para aprimorar o planejamento de serviços de terraplenagem.

Palavras-chave: Chuvas. Obras de terraplenagem. Orçamentação. Planejamento.

ABSTRACT

Earthworks are particularly sensitive to weather conditions, since rainfall can affect soil excavation, transportation, and compaction activities, reducing the availability of productive working hours and increasing execution costs. Therefore, this study aimed to analyze the influence of rainfall seasonality on the planning and budgeting of a hypothetical earthmoving project, assessing its impacts on the project schedule and total cost. The research was developed through a quantitative-descriptive approach based on historical rainfall data recorded in Belo Horizonte, Minas Gerais, between 2015 and 2024. Rainfall events were classified according to the daily precipitation volume and converted into downtime periods through the application of recovery factors. Based on these parameters, the average monthly productive hours were calculated, and two execution schedules were prepared considering the same quantities, equipment, workforce, and productivity rates, but with different starting dates: June, during the predominantly dry season, and November, at the beginning of the rainy season. In the scenario starting in June, the project had a duration of 81 calendar days, equivalent to 2.6 months, and an estimated total cost of BRL 850.720.00. In the scenario starting in November, the duration increased to 140 calendar days, equivalent to 4.60 months, raising the total cost to BRL 1,505,120.00. The difference of BRL 654,400.00 represents an approximate 76.92% increase in the project cost. The results demonstrate that disregarding rainfall seasonality may lead to significant underestimations of schedule and budget, compromising the technical and economic feasibility of earthworks. It is concluded that incorporating historical rainfall data and recovery factors is an accessible and effective tool for improving the planning of earthmoving activities.

Key-Words: Budgeting. Earthworks. Planning. Rainfall.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Grau de Oportunidade de Mudança x Tempo	21
Figura 2 – Precipitação e temperatura em Belo Horizonte, Minas Gerais	28
Figura 3 – Comparação: Gráfico de Gantt	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produtividade dos Equipamentos	17
Tabela 2 – Fatores de paralisação adotados conforme volume de chuva	33
Tabela 3 – Quantitativos de serviços adotados	36
Tabela 4 – Horas improdutivas por mês	38
Tabela 5 – Estimativa de custos indiretos mensais por categoria para uma obra de terraplenagem de médio porte (valores em R\$ de 2025)	42
Tabela 6 – Custos diretos mensais.....	44
Tabela 7 – Horas improdutivas e produtivas médias por mês	45
Tabela 8 – Quantitativos e duração das atividades	46
Tabela 9 – Custos diretos mensais.....	50
Tabela 10 – Custos indiretos mensais	51
Tabela 11 – Comparação financeira entre os cenários.....	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 PERGUNTA DE PESQUISA	11
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo geral	11
1.2.2 Objetivos específicos.....	11
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	11
1.4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA	12
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	12
2 REVISÃO TEÓRICA.....	14
2.1 OBRAS DE TERRAPLENAGEM.....	14
2.1.1 Conceitos e finalidades	14
2.1.2 Etapas e equipamentos utilizados.....	15
2.1.2.1 Escavação	15
2.1.2.2 Carga e transporte	15
2.1.2.3 Descarga e espalhamento	15
2.1.2.4 Compactação.....	15
2.1.2.5 Conformação final.....	16
2.1.3 Características técnicas e produtividades típicas	16
2.1.3.1 Características técnicas relevantes	16
2.1.3.2 Produtividades típicas por equipamento	17
2.1.3.3 Considerações operacionais.....	17
2.1.4 Empolamento do solo em escavação.....	18
2.2 PLANEJAMENTO DE OBRAS	20
2.2.1 Conceitos e importância do planejamento.....	20
2.2.2 Tipos de planejamento (estratégico, tático e operacional)	22
2.2.2.1 Planejamento estratégico	22
2.2.2.2 Planejamento tático	22
2.2.2.3 Planejamento operacional	23
2.2.3 Metodologias e ferramentas de apoio ao planejamento	23

2.2.3.1 Gráfico de Gantt	23
2.2.3.2 Método do caminho crítico (CPM)	24
2.2.3.3 Método de diagrama de precedência (PDM)	24
2.2.3.4 Linha de balanço (“ <i>line of balance</i> ” – LOB).....	24
2.2.3.5 Softwares de Planejamento	24
2.2.4 Riscos e incertezas no planejamento de obras	25
2.2.4.1 Interferências climáticas	26
2.2.4.2 Variabilidade de solo e geotecnia	26
2.2.4.3 Falhas de projeto e revisões técnicas.....	26
2.2.4.4 Logística, suprimentos e recursos	26
2.2.4.5 Riscos contratuais e institucionais	27
2.3 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E CONSTRUÇÃO CIVIL: PLUVIOMETRIA E CLASSIFICAÇÃO DAS CHUVAS	27
3 METODOLOGIA.....	30
3.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA.....	30
3.2 FONTES E DADOS	31
3.3 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMPRATICABILIDADE.....	32
3.4 MODELAGEM DOS CENÁRIOS	33
3.4.1 Cenário 1 – Planejamento sem considerar chuvas	33
3.4.2 Cenário 2 – Planejamento com ajuste por impraticabilidade climática	34
3.4.3 Premissas Comuns aos Dois Cenários	35
3.5 COMPOSIÇÕES E PLANILHA DE QUANTIDADE	35
3.6 CRONOGRAMA.....	36
3.7 CUSTOS INDIRETOS.....	38
3.8 CUSTOS DIRETOS	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 DETERMINAÇÃO DAS HORAS PRODUTIVAS MENSAIS	45
4.2 DEFINIÇÃO DAS ATIVIDADES E DURAÇÃO DOS SERVIÇOS	46
4.4.1 Cenário 1 – Início da obra em junho.....	48
4.4.2 Cenário 2 – Início da obra em novembro.....	48
4.6.1 Custos Diretos	50
4.6.2 Custos Indiretos.....	50

4.6.3 Comparação dos Cenários	51
5 CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIA	55

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é, por natureza, exposta a múltiplas variáveis que podem comprometer o desempenho técnico, econômico e cronológico dos empreendimentos. Dentre essas variáveis, as condições climáticas se destacam como uma das mais impactantes, sobretudo em obras executadas a céu aberto, como é o caso das atividades de terraplenagem. Chuvas intensas ou recorrentes podem causar paralisações, deteriorar o solo e afetar a eficiência dos equipamentos, gerando atrasos significativos no cronograma e aumento nos custos indiretos e diretos.

Apesar de amplamente reconhecida entre profissionais da área, a influência do regime pluviométrico ainda é subestimada ou negligenciada nos orçamentos e planejamentos de obras, especialmente por empresas de pequeno e médio porte. Isso compromete a confiabilidade das estimativas e pode resultar em penalidades contratuais, aumento do custo global do empreendimento e, em casos mais críticos, na inviabilidade da execução.

Neste contexto, torna-se necessário o desenvolvimento de metodologias simples, porém eficazes, que permitam incorporar a variável climática no planejamento de obras, não apenas como um fator de risco genérico, mas com base em dados históricos e critérios técnicos objetivos. A aplicação de fatores de impraticabilidade, que associam a intensidade das chuvas a períodos de paralisação e retomada das atividades, surge como alternativa viável para a construção de cenários realistas e robustos.

Este trabalho tem como proposta avaliar os impactos da aplicação de uma metodologia de cálculo de impraticabilidade climática sobre o planejamento e orçamentação de uma obra hipotética de terraplenagem. Serão construídos dois cenários: um que desconsidera os efeitos das chuvas e outro que os integra com base em dados históricos e parâmetros técnicos. A comparação entre esses cenários permitirá avaliar as consequências práticas da omissão desse fator na estimativa de custos e prazos.

Além disso, o estudo visa contribuir para a consolidação de práticas mais realistas de planejamento, promovendo a disseminação de ferramentas acessíveis, como planilhas automatizadas em Excel, que possibilitem a análise integrada de dados pluviométricos, produtividade e custos. Dessa forma, busca-se tanto uma contribuição

prática para o setor da construção civil quanto um avanço metodológico e teórico no tratamento de variáveis ambientais em projetos de engenharia.

1.1 PERGUNTA DE PESQUISA

Como a aplicação de uma metodologia de cálculo de impraticabilidade climática, baseada em dados pluviométricos históricos e fatores de retomada, pode influenciar o planejamento e a orçamentação de uma obra de terraplenagem em relação à duração e ao custo total?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o impacto da aplicação de uma metodologia de cálculo de impraticabilidade climática (chuvas) no planejamento e na orçamentação de obras de terraplenagem, comparando custos totais, duração do cronograma e eficiência econômica entre cenários com e sem inclusão dessa variável.

1.2.2 Objetivos específicos

- Comparar cronogramas e orçamentos de uma obra hipotética de terraplenagem em dois cenários:
 - Cenário 1: planejamento sem considerar a impraticabilidade devido às chuvas;
 - Cenário 2: planejamento com aplicação de metodologia de cálculo de dias parados por chuvas.
- Avaliar a metodologia de cálculo de impraticabilidade climática com base em fatores de retomada distintos conforme a intensidade das chuvas.
- Quantificar os custos diretos e indiretos gerados pela extensão do prazo devido às chuvas, incluindo mão de obra ociosa, equipamentos parados e prolongamento da administração da obra.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A relevância deste estudo reside no fato de que a maioria dos planejamentos de obras de terraplenagem no Brasil ainda desconsidera, de forma sistemática, a

influência direta das chuvas sobre a produtividade e a duração das atividades. Essa omissão compromete a exequibilidade do cronograma e do orçamento, podendo gerar atrasos, prejuízos e conflitos contratuais. A presente pesquisa busca preencher essa lacuna, apresentando uma abordagem metodológica baseada em dados reais e ferramentas acessíveis ao cotidiano dos engenheiros e orçamentistas.

Do ponto de vista prático, o estudo oferece uma ferramenta para melhoria na previsibilidade e na alocação de recursos, beneficiando empresas que buscam competitividade e sustentabilidade financeira. No campo teórico, contribui com a ampliação do debate sobre a integração entre variáveis ambientais e planejamento de obras. Em termos metodológicos, o trabalho propõe uma adaptação de recursos simples, como planilhas em Excel, para auxiliar o processo decisório de forma objetiva e sistematizada.

1.4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este trabalho apresenta as seguintes restrições e limitações:

- O estudo será baseado em um caso hipotético, com dados de produtividade e composições obtidas de bancos de dados padronizados (SINAPI, TCPO) e adaptados por meio de referências técnicas confiáveis.
- A metodologia aplicada considerará exclusivamente a variável “chuvas” como fator de impraticabilidade climática, desconsiderando outras causas de improdutividade como treinamentos, logística interna ou paradas técnicas.
- Os impactos financeiros serão estimados com base em custos unitários médios e não envolverão análise contratual específica ou variações de mercado local.
- Os fatores de retomada utilizados no cálculo de dias impraticáveis foram extraídos de práticas de mercado e literatura técnica, podendo variar de acordo com a realidade de cada empresa ou obra.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, conforme descrito a seguir:

- Capítulo 1 – Introdução: Apresenta a contextualização do tema, a pergunta de pesquisa, os objetivos, a justificativa, as limitações do estudo e a estrutura geral do trabalho.

- Capítulo 2 – Referencial Teórico: Aborda os principais conceitos relacionados à terraplenagem, planejamento de obras, impacto climático na construção civil e metodologia de análise de impraticabilidade.
- Capítulo 3 – Materiais e Métodos: Detalha os procedimentos adotados para desenvolvimento do estudo, incluindo os critérios de coleta e análise dos dados, a modelagem dos cenários e a metodologia aplicada.
- Capítulo 4 – Análise e Discussão dos Resultados: Apresenta os cronogramas, histogramas e comparações entre os cenários, além da análise dos impactos observados nos prazos e nos custos.
- Capítulo 5 – Conclusão: Expõe os resultados finais, as considerações qualitativas da análise e sugestões para futuras pesquisas.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 OBRAS DE TERRAPLENAGEM

2.1.1 Conceitos e finalidades

A terraplenagem é uma das primeiras e mais fundamentais etapas de uma obra de engenharia civil. Consiste no conjunto de operações destinadas a modelar o terreno natural, promovendo sua adequação ao projeto executivo por meio da movimentação de massas de terra. Conforme Ricardo e Catalani (2007), trata-se da “remoção de solos e rochas de locais onde há excedente e seu transporte para regiões onde há necessidade de preenchimento, com o objetivo de atingir cotas e perfis estabelecidos em projeto”.

A finalidade principal da terraplenagem é garantir que o terreno apresente as condições geométricas e geotécnicas necessárias para o início das etapas subsequentes da construção, como fundações, pavimentações, edificações ou obras de infraestrutura em geral. Para isso, as operações envolvem escavação, carga, transporte, descarga, espalhamento, conformação e compactação do solo. A depender das características da obra, essas atividades podem ser realizadas de forma mecanizada, utilizando equipamentos pesados, ou, em casos específicos, de maneira manual.

Além de preparar o terreno para receber estruturas, a terraplenagem tem o objetivo de garantir a estabilidade do maciço, controlar a erosão, assegurar a drenagem superficial adequada e otimizar a movimentação de equipamentos e veículos no canteiro de obras. Em projetos de grande porte, como rodovias, barragens, plataformas industriais ou pátios de mineração, essa etapa pode representar uma fração significativa dos custos e prazos totais da obra, o que reforça sua relevância estratégica dentro do planejamento executivo (Askew et al., 2002; Duarte, 2013).

O adequado dimensionamento da terraplenagem, aliado ao conhecimento das características do solo e das condições climáticas do local, permite a redução de custos, aumento da produtividade e mitigação de riscos operacionais. Dessa forma, esta etapa assume um papel central na viabilidade técnica e econômica dos empreendimentos de engenharia civil.

2.1.2 Etapas e equipamentos utilizados

A execução de uma obra de terraplenagem segue uma sequência lógica de etapas que devem ser rigorosamente planejadas, uma vez que representam parte significativa do custo e do prazo global do empreendimento (DUARTE, 2013). Essas etapas compreendem, geralmente, as operações de escavação, carga, transporte, descarga, espalhamento, conformação e compactação do solo.

2.1.2.1 Escavação

A escavação é a etapa de desagregação do solo em seu estado natural, sendo o ponto inicial da movimentação de terras. Ricardo e Catalani (2007) definem escavação como o rompimento da estrutura original do solo por meio de forças mecânicas, viabilizando seu transporte e posterior utilização. Essa etapa pode ser realizada com equipamentos como escavadeiras hidráulicas, retroescavadeiras, tratores de esteira com lâmina (dozer) ou até mesmo de forma manual, dependendo da escala da obra.

2.1.2.2 Carga e transporte

Após a escavação, o solo é carregado em veículos apropriados, geralmente caminhões basculantes ou articulados. Conforme Duarte (2013), essa etapa deve ser sincronizada com os ciclos de escavação para evitar tempos ociosos e garantir a eficiência do processo. A distância de transporte é um fator determinante no custo final da operação, sendo que grandes distâncias exigem planejamento logístico detalhado.

2.1.2.3 Descarga e espalhamento

Ao chegar na área de bota-fora ou aterro, o material é descarregado e espalhado com o auxílio de tratores ou motoniveladoras. Segundo Ricardo e Catalani (2007), o espalhamento visa distribuir o solo em camadas uniformes, preparando-o para a compactação. A conformação geométrica do terreno já começa a ser observada nesse momento, com o nivelamento preliminar.

2.1.2.4 Compactação

A compactação é uma das fases mais críticas do processo de terraplenagem. Consiste na redução dos vazios do solo para aumentar sua densidade e resistência,

essencial para garantir a estabilidade do aterro e sua durabilidade ao longo do tempo (INSFRÁN & ANTONIO, 2001). A operação é realizada por rolos compactadores (pé de carneiro, liso, pneumático ou vibratório), cuja escolha depende do tipo de solo e do grau de compactação requerido em projeto (geralmente 95% do Proctor Normal).

2.1.2.5 Conformação final

A conformação final tem como objetivo adequar o terreno às exigências geométricas estabelecidas em projeto, incluindo cotas, taludes e escoamento superficial. Ricardo e Catalani (2007) ressaltam que essa etapa deve ser acompanhada de topografia de controle para verificação da geometria e da regularidade do terreno. A conformação também contribui para a eficiência do sistema de drenagem, evitando problemas como erosões e acúmulo de água.

2.1.3 Características técnicas e produtividades típicas

As obras de terraplenagem envolvem uma ampla gama de atividades técnicas que requerem análise criteriosa de variáveis geotécnicas, operacionais e climáticas. O conhecimento das características dos solos, a seleção adequada dos equipamentos e a definição de produtividades são fundamentais para garantir o desempenho físico-financeiro da obra, evitando retrabalhos, atrasos e sobrecustos.

2.1.3.1 Características técnicas relevantes

Segundo Ricardo e Catalani (2007), os principais fatores técnicos que influenciam as operações de terraplenagem são:

- Tipo de solo: A resistência ao corte, coesão, plasticidade e umidade natural afetam diretamente a escavabilidade e a necessidade de equipamentos específicos.
- Topografia do terreno: Declividades acentuadas, presença de obstáculos naturais e acessos restritos exigem ajustes operacionais e cuidados no planejamento logístico.
- Nível freático e drenagem: Solos saturados ou com lençol freático próximo à superfície reduzem a estabilidade e dificultam a compactação, sendo necessário tratamento ou drenagem prévia.

- Distâncias de transporte: A distância entre os pontos de escavação e aterro (ou bota-fora) influencia diretamente o ciclo dos equipamentos de transporte e, por consequência, a produtividade global da frente de trabalho.

Além disso, os parâmetros de execução, como espessura das camadas, número de passadas do rolo compactador e controle da umidade segundo a curva Proctor, devem ser rigorosamente acompanhados, conforme apontado por Insfrán e Antonio (2001).

2.1.3.2 Produtividades típicas por equipamento

A produtividade de um equipamento depende de fatores como tipo de solo, condições climáticas, habilidade do operador, manutenção e organização da frente de trabalho. A Tabela 1 apresenta produtividades médias usuais, baseadas em valores extraídos de composições de custo e literatura técnica (DUARTE, 2013; RICARDO & CATALANI, 2007):

Tabela 1 – Produtividade dos Equipamentos

EQUIPAMENTO	ATIVIDADE EXECUTADA	PRODUTIVIDADE MÉDIA
Escavadeira hidráulica 20 toneladas	Escavação e carga em solo argiloso	60 a 80 m³/h
Pá-carregadeira	Carga de solo em caminhões	40 a 70 m³/h
Trator de esteiras D6	Espalhamento e conformação de solo	150 a 260 m²/h
Motoniveladora	Nivelamento de camada de solo	5.000 a 8.000 m²/dia
Rolo pé de carneiro	Compactação de solos coesivos	300 a 500 m³/h
Caminhão basculante 12m³	Transporte de solo (ciclo de 15 a 20 min)	3 a 4 viagens/h (36 a 48 m³/h)

Fonte: Adaptado de Ricardo & Catalani (2007); Duarte (2013); composições SINAPI

2.1.3.3 Considerações operacionais

Segundo Zynger (2000), a produtividade real raramente atinge os valores nominais de catálogo dos fabricantes. Ela é impactada por perdas operacionais como:

- Tempo de deslocamento sem carga;
- Manobras e esperas;
- Manutenção corretiva ou preventiva;
- Interferências climáticas (chuvas, neblina, ventos fortes);
- Sobreposição de frentes ou conflitos logísticos.

Dessa forma, para obter maior precisão no planejamento e na orçamentação de obras, recomenda-se o uso de coeficientes de eficiência, ajustando as produtividades teóricas aos valores observados em campo (DUARTE, 2013). Esse ajuste é ainda mais necessário quando se aplicam metodologias de cálculo de dias improdutivos, como será analisado nos próximos capítulos deste trabalho.

2.1.4 Empolamento do solo em escavação

Nas obras de terraplenagem, a quantificação dos volumes de solo constitui uma etapa fundamental para o adequado planejamento das atividades de escavação, carga, transporte, espalhamento e compactação. Entretanto, o volume medido no terreno natural não corresponde, necessariamente, ao volume movimentado após a escavação. Isso ocorre devido ao fenômeno conhecido como empolamento do solo, caracterizado pelo aumento volumétrico do material quando este é removido de sua condição natural e passa ao estado solto.

Segundo Ricardo e Catalani (2007), os serviços de terraplenagem envolvem a remoção de material de regiões onde há excesso e seu transporte para áreas onde há necessidade de preenchimento, de modo a conformar o terreno às cotas estabelecidas em projeto. Nesse processo, o solo inicialmente encontra-se em seu estado natural, também denominado volume “in situ” ou volume no corte. Ao ser escavado, ocorre a ruptura de sua estrutura original, com desagregação das partículas e aumento dos vazios entre os grãos, fazendo com que o material passe a ocupar um volume superior ao original.

Esse aumento de volume é denominado empolamento ou expansão volumétrica. Para Peurifoy, Schexnayder e Shapira (2011), os materiais escavados podem apresentar variações relevantes entre os estados natural, solto e compactado, sendo necessário considerar essas alterações no cálculo de produtividade, capacidade de transporte e estimativa de custos. Assim, o empolamento representa a diferença entre o volume do solo em seu estado natural e o volume ocupado após a escavação, quando o material se encontra desagregado e pronto para ser carregado ou transportado.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2010), por meio do Manual de Implantação Básica de Rodovia, destaca a importância dos parâmetros

de conversão volumétrica em obras de terraplenagem, uma vez que os materiais movimentados apresentam comportamentos distintos conforme sua natureza, umidade, granulometria, grau de compactação natural e método de execução. Dessa forma, os fatores de empolamento devem ser definidos, preferencialmente, com base em estudos geotécnicos específicos. Na ausência desses ensaios, admite-se a adoção de valores referenciais compatíveis com a natureza do solo e com as condições executivas consideradas no projeto.

A relação entre o volume natural e o volume solto pode ser representada pela Equação:

$$V_s = V_n \times FE$$

V_s = volume solto do material após a escavação

V_n = volume natural do material, medido no corte ou no terreno original;

FE = fator de empolamento.

De acordo com a Caterpillar (2024), o empolamento corresponde ao percentual de aumento do volume original quando o material é removido de sua condição natural e passa ao estado solto. A referência técnica exemplifica que, para um empolamento de 30%, o material passa a ocupar 1,3 vez o volume original após a escavação. Dessa forma, um fator de empolamento igual a 1,30 indica que, para cada 1,00 m³ de solo medido no corte, obtém-se 1,30 m³ de material solto a ser carregado e transportado.

A adoção desse fator é especialmente relevante em obras de terraplenagem, pois o volume geométrico de escavação costuma ser medido em metros cúbicos naturais, enquanto os equipamentos de transporte operam com base no volume solto carregado em suas caçambas. Assim, a descon sideração do empolamento pode provocar subestimação da quantidade de viagens, do tempo de ciclo dos caminhões, do consumo de combustível, da utilização dos equipamentos e, conseqüentemente, dos custos diretos da obra.

No presente trabalho, adotou-se o fator de empolamento igual a 1,30, correspondente a um acréscimo volumétrico de 30% em relação ao volume natural escavado. Essa escolha justifica-se pela ausência de ensaios geotécnicos específicos para a obra hipotética analisada e pela necessidade de utilizar uma premissa conservadora e tecnicamente defensável para estimar o volume solto a ser

transportado. A adoção do fator 1,30 é compatível com a referência apresentada pela Caterpillar (2024), na qual o empolamento de 30% é diretamente associado ao aumento do volume escavado para 1,3 vez o volume original, e também se alinha à abordagem do DNIT (2010), que reconhece a necessidade de considerar fatores de conversão volumétrica em estudos de terraplenagem.

No contexto desta pesquisa, o fator de empolamento assume papel relevante porque a análise econômico-financeira depende da correta estimativa do volume efetivamente movimentado. Assim como a variável climática influencia a disponibilidade de horas produtivas, o empolamento influencia a quantidade de serviço a ser executada, sobretudo na atividade de transporte. Dessa forma, a consideração do fator 1,30 contribui para tornar a modelagem mais conservadora, realista e compatível com práticas técnicas de terraplenagem.

2.2 PLANEJAMENTO DE OBRAS

2.2.1 Conceitos e importância do planejamento

O planejamento é uma das funções essenciais da gestão de projetos na construção civil, responsável por estabelecer o rumo estratégico e operacional de uma obra. De acordo com Oliveira (2007), o planejamento não se refere apenas à antecipação de ações, mas às implicações futuras das decisões tomadas no presente. É um processo contínuo que visa orientar, coordenar e controlar recursos, prazos e atividades com o intuito de atingir os objetivos do empreendimento com eficiência.

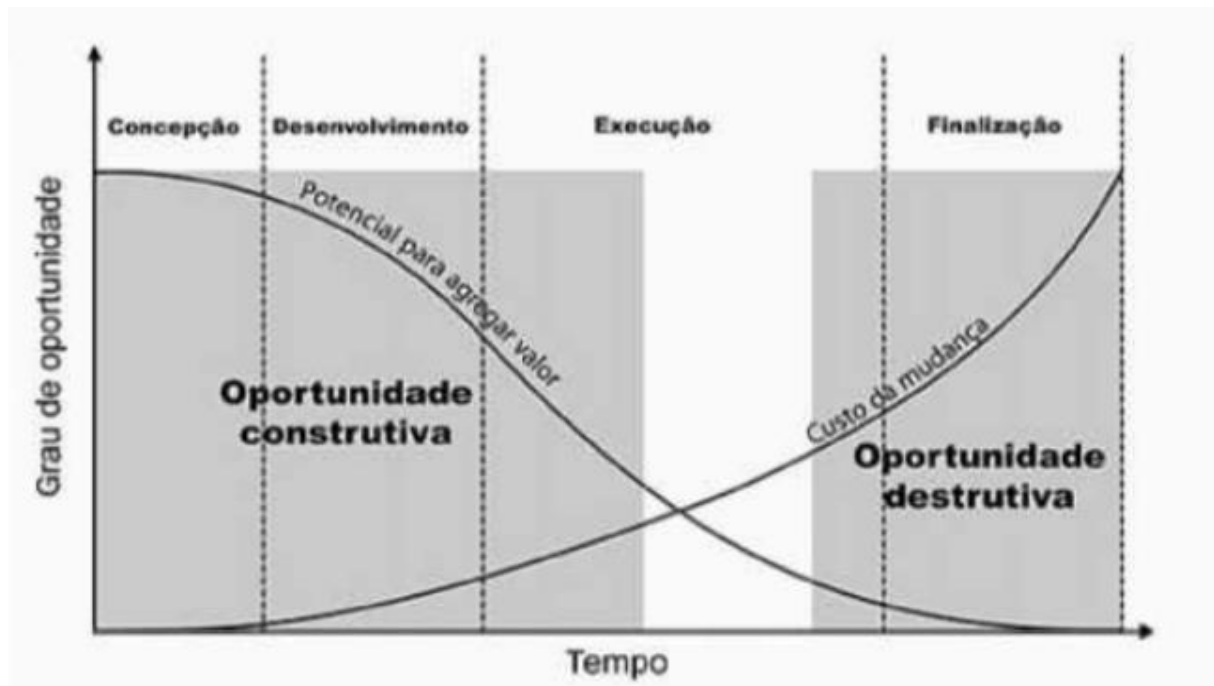
Para Maximiano (1995), o planejamento oferece três benefícios centrais:

- Permanência das decisões, ao permitir a formalização antecipada das diretrizes;
- Equilíbrio operacional, ao reduzir irregularidades e emergências durante a execução;
- Melhor desempenho global, ao possibilitar a previsão e mitigação de riscos.

Em obras civis, o planejamento deve considerar todas as fases do ciclo de vida do projeto: estudos preliminares, anteprojeto, projeto executivo, mobilização, execução e encerramento. Segundo Silva (2011), um bom planejamento deve integrar informações técnicas, econômicas, legais e ambientais, além de contemplar cenários de incerteza — especialmente aqueles ligados a fatores climáticos, como chuvas excessivas, que podem comprometer atividades ao ar livre, como a terraplenagem.

Mattos (2010) argumenta que os maiores ganhos de prazo e custo em um empreendimento se concentram justamente nas fases iniciais de planejamento, quando o grau de liberdade para mudanças ainda é elevado. Conforme mostra a Figura 1, alterações realizadas após o início da execução têm custo elevado e impacto reduzido, enquanto mudanças no planejamento podem ser decisivas para o sucesso do projeto.

Figura 1 – Grau de Oportunidade de Mudança x Tempo



Fonte: (MATTOS, 2010)

Além disso, conforme Zynger (2000), a ausência de planejamento detalhado pode levar à subestimação de custos, improdutividades ocultas e cronogramas inexecutáveis. A integração do planejamento com dados históricos, como séries pluviométricas, permite o desenvolvimento de cronogramas mais realistas, refletindo não apenas a duração técnica das atividades, mas também os riscos operacionais decorrentes de variáveis ambientais.

Portanto, o planejamento eficaz não é apenas uma exigência técnica ou contratual, mas uma ferramenta estratégica que permite transformar informações em ações estruturadas, garantindo que os objetivos da obra sejam atingidos com previsibilidade e controle.

2.2.2 Tipos de planejamento (estratégico, tático e operacional)

O planejamento em engenharia civil pode ser estruturado em diferentes níveis hierárquicos, de acordo com o grau de detalhamento e o horizonte temporal das decisões. Conforme a classificação proposta por Oliveira (2007), os tipos de planejamento são agrupados em três categorias principais: estratégico, tático e operacional. Essa divisão facilita a organização dos processos, a definição de responsabilidades e a integração entre áreas técnicas, administrativas e executivas.

2.2.2.1 Planejamento estratégico

O planejamento estratégico é o nível mais alto da hierarquia e está voltado para decisões de longo prazo e impacto global no empreendimento. Segundo Silva (2011), ele é normalmente conduzido pela alta gestão da empresa ou pelo corpo diretivo da obra, com foco em metas amplas, como prazo final de entrega, orçamento total, definição de layout do canteiro, mobilização de recursos e estratégias de suprimentos.

Ferramentas como o Gráfico de Gantt, CPM (Critical Path Method) e PDM (Precedence Diagramming Method) são amplamente utilizadas nesta fase para garantir a visualização e o sequenciamento lógico das atividades (SILVA, 2011). Embora esse nível não trate do detalhamento das frentes de serviço, ele fornece os parâmetros fundamentais que guiarão os planos tático e operacional.

2.2.2.2 Planejamento tático

O planejamento tático traduz os objetivos estratégicos em ações de médio prazo, geralmente com horizonte mensal ou bimestral. De acordo com Bernardes (apud SILVA, 2011), é nesse nível que se definem os pacotes de trabalho e as frentes de serviço, com detalhamento suficiente para orientar as equipes de campo. As decisões são tomadas por engenheiros de planejamento e gerentes de obra, visando alinhar prazos, recursos e restrições técnicas.

Essa etapa é essencial para a avaliação de riscos operacionais, identificação de gargalos e elaboração de planos de contingência. Além disso, permite a atualização periódica do planejamento estratégico com base nas informações reais do andamento da obra (COELHO, 2003).

2.2.2.3 Planejamento operacional

É o nível mais detalhado do planejamento e abrange o curto prazo, geralmente semanal ou diário. Segundo Bernardes (apud SILVA, 2011), sua função é distribuir as tarefas diretamente às equipes de produção, considerando os recursos disponíveis, as restrições temporárias (ex.: clima, logística) e as prioridades estabelecidas.

Nesse nível são definidos os cronogramas de execução diária, os turnos de trabalho, o abastecimento de materiais e a programação de equipamentos. O objetivo principal é proteger a produção contra incertezas, garantindo o uso eficiente dos recursos e a continuidade das frentes de serviço.

Esses três níveis de planejamento não devem ser vistos de forma isolada. Pelo contrário, o sucesso de uma obra depende da integração contínua entre eles, garantindo que as decisões estratégicas sejam traduzidas em ações operacionais coerentes e adaptadas à realidade do canteiro. Conforme Oliveira (2007), o planejamento deve ser encarado como um sistema dinâmico, em constante retroalimentação, que permite corrigir rumos, reavaliar metas e manter o controle do projeto mesmo diante de incertezas, como as provocadas por variáveis climáticas.

2.2.3 Metodologias e ferramentas de apoio ao planejamento

O planejamento eficiente em obras de engenharia civil requer o uso de metodologias estruturadas e ferramentas tecnológicas que permitam representar graficamente, simular cenários, calcular prazos e alocar recursos. A escolha e aplicação correta desses instrumentos facilitam o controle do cronograma e possibilitam a tomada de decisão com base em dados objetivos.

2.2.3.1 Gráfico de Gantt

O Gráfico de Gantt é uma das ferramentas mais tradicionais na construção civil. Desenvolvido por Henry Gantt em 1917, permite representar a duração e a sequência das atividades em uma linha do tempo. Segundo Silva (2011), essa ferramenta é extremamente útil para visualizar o encadeamento de tarefas e identificar sobreposições e dependências entre frentes de trabalho.

Apesar de sua simplicidade, o Gráfico de Gantt pode ser adaptado a diferentes níveis de planejamento, desde o estratégico até o operacional, principalmente com o apoio de softwares como MS Project e Primavera P6.

2.2.3.2 Método do caminho crítico (CPM)

O “*Critical Path Method*” (CPM) é uma técnica de planejamento baseada na identificação da cadeia de atividades que determina a menor duração possível da obra. Qualquer atraso nas atividades do caminho crítico afeta diretamente a data de término do projeto. Para Maximiano (1995), essa metodologia é fundamental para priorizar decisões de alocação de recursos e esforços de recuperação de prazo.

O CPM é especialmente importante em obras com várias frentes simultâneas, onde a interdependência entre tarefas pode gerar gargalos e atrasos sistêmicos.

2.2.3.3 Método de diagrama de precedência (PDM)

O “*Precedence Diagramming Method*” (PDM) é uma evolução do CPM, que utiliza nós (caixas) e setas para indicar relações de precedência entre atividades. Essa técnica permite representar quatro tipos de vínculos lógicos: início-início (SS), término-início (FS), início-término (SF) e término-término (FF), oferecendo maior flexibilidade na modelagem de cronogramas (OLIVEIRA, 2007).

2.2.3.4 Linha de balanço (“*line of balance*” – LOB)

Método muito utilizado em obras repetitivas, como edifícios com múltiplos pavimentos ou trechos de rodovias, a Linha de Balanço representa a execução simultânea de diversas frentes ao longo do tempo. Segundo Askew et al. (2002), essa abordagem permite otimizar o fluxo de produção, evitar interferências entre equipes e minimizar tempos de espera.

Embora seja pouco utilizada em obras de terraplenagem convencionais, o método pode ser aplicado em movimentações de terra em trechos lineares (ex.: duplicação de rodovias), quando há necessidade de equilíbrio entre cortes e aterros ao longo do trecho.

2.2.3.5 Softwares de Planejamento

Com a evolução tecnológica, diversas ferramentas digitais foram incorporadas ao planejamento de obras, com destaque para:

- Microsoft Project – permite criação de cronogramas, acompanhamento do progresso físico e financeiro, além da alocação de recursos e definição de calendários específicos por atividade;
- Primavera P6 – amplamente utilizado em grandes empreendimentos de engenharia, possui recursos avançados de integração entre cronograma e orçamento;
- Excel – ferramenta versátil para cálculos auxiliares, modelagem de cenários, orçamentos e integração de dados pluviométricos ou índices de produtividade;
- AutoCAD/Civil 3D – utilizado para levantamento topográfico e modelagem do terreno, especialmente útil para obras de terraplenagem;
- BIM (Building Information Modeling) – em ascensão, o BIM permite simulações 4D (cronograma), 5D (custos) e até 6D (manutenção), promovendo a integração entre projeto, orçamento e execução.

O uso combinado dessas metodologias e ferramentas contribui significativamente para a previsibilidade e controle da obra, especialmente quando o planejamento precisa absorver incertezas externas, como a variabilidade climática. Como destaca Mattos (2010), obras planejadas com base em dados históricos, simulações e vínculos realistas tendem a ser mais eficientes, econômicas e confiáveis ao longo de sua execução.

2.2.4 Riscos e incertezas no planejamento de obras

O planejamento de obras na engenharia civil é inerentemente exposto a riscos e incertezas, decorrentes tanto de fatores internos (como falhas de projeto ou erros de estimativa) quanto de variáveis externas, como clima, mercado e legislações. A previsibilidade e o controle desses fatores são fundamentais para a eficiência do empreendimento, sobretudo em atividades sensíveis à imprevisibilidade, como as obras de terraplenagem.

Segundo Zynger (2000), a ausência de planejamento específico para lidar com interferências pode levar à subestimação de prazos e custos, resultando em cronogramas inexecutáveis, desperdício de recursos e até rescisão contratual.

2.2.4.1 Interferências climáticas

As condições meteorológicas são uma das variáveis externas mais críticas para a construção civil. Chuvas intensas, por exemplo, podem inviabilizar serviços de escavação e compactação, como ocorre com frequência em obras de terraplenagem (ISFRÁN & ANTONIO, 2001).

Para Pan (2005), há uma correlação direta entre volume pluviométrico e perda de produtividade, sendo necessário adotar margens de segurança e metodologias de cálculo de impraticabilidade climática para minimizar os impactos. Estudos, como o de Girardi (2018), propõem o uso de fatores de retomada para quantificar o tempo de paralisação e recuperação das atividades após eventos de chuva.

2.2.4.2 Variabilidade de solo e geotecnia

Mesmo com sondagens prévias, é comum que o solo apresente variações inesperadas ao longo da execução, como surgimento de lençol freático raso, presença de material orgânico ou camadas colapsíveis. Segundo Ricardo e Catalani (2007), essas ocorrências exigem soluções de engenharia emergenciais, com impacto em prazo, custo e segurança da obra.

2.2.4.3 Falhas de projeto e revisões técnicas

Alterações tardias em projetos executivos, omissões de detalhes técnicos ou incompatibilidades entre disciplinas (projeto estrutural x drenagem, por exemplo) afetam diretamente a programação da obra. Conforme Oliveira (2007), a ausência de revisão integrada no início da obra pode gerar retrabalhos significativos.

2.2.4.4 Logística, suprimentos e recursos

Atrasos na entrega de insumos, indisponibilidade de mão de obra especializada ou falhas no abastecimento de combustíveis e peças de reposição para equipamentos podem comprometer o andamento da obra. Silva (2011) ressalta que a antecipação desses riscos exige uma logística detalhada e flexível, com fornecedores previamente qualificados e estoques reguladores.

2.2.4.5 Riscos contratuais e institucionais

Licenças ambientais, embargos, exigências adicionais por órgãos públicos ou comunidades locais representam riscos institucionais relevantes, principalmente em grandes empreendimentos. A avaliação preliminar desses aspectos deve compor o planejamento estratégico da obra (MATTOS, 2010).

Dada a complexidade desses fatores, a abordagem moderna do planejamento deve incorporar técnicas de gestão de riscos, que incluem:

- Identificação de riscos;
- Avaliação de probabilidade e impacto;
- Definição de medidas mitigadoras;
- Monitoramento contínuo ao longo do ciclo da obra.

A integração desses procedimentos ao cronograma permite a criação de cenários alternativos e a formulação de planos de contingência que garantem maior resiliência ao planejamento, essencial para obras executadas sob condições variáveis, como as que envolvem grandes volumes de movimentação de solo.

2.3 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E CONSTRUÇÃO CIVIL: PLUVIOMETRIA E CLASSIFICAÇÃO DAS CHUVAS

A precipitação pluviométrica é, na maioria dos casos, a principal variável climática de impacto direto sobre as obras de engenharia civil. Sua ocorrência interfere nas atividades de campo, reduz a produtividade, impossibilita a execução de determinadas etapas e, em muitos casos, gera atrasos significativos nos cronogramas. Em obras de terraplenagem, o impacto é ainda mais sensível, uma vez que tanto os solos em movimentação quanto os equipamentos operam diretamente sobre superfícies expostas e com grande dependência das condições meteorológicas.

No Brasil, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) classifica as chuvas com base na intensidade horária. No entanto, para o planejamento de obras e a definição de fatores de retomada, a abordagem mais prática envolve o uso de precipitação diária acumulada (mm/dia) — pois é essa variável que afeta a execução e liberação de frentes de serviço em cronogramas reais.

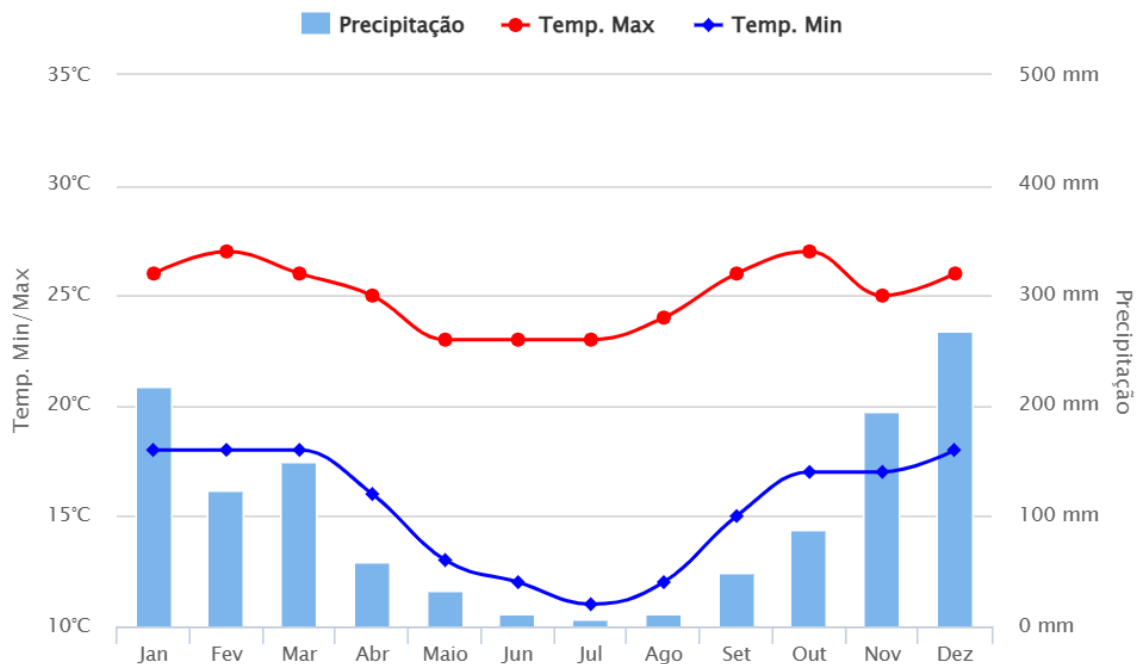
No contexto deste trabalho, as chuvas foram categorizadas em faixas diretamente relacionadas à quantidade de milímetros por dia e ao seu impacto estimado em dias de paralisação para dois tipos principais de atividade: aterro e corte. Essa

classificação, embora baseada em parâmetros técnicos, é ajustada à realidade operacional da execução em campo e será utilizada para embasar os cálculos de impraticabilidade apresentados nos capítulos seguintes.

Segundo Zynger (2000) e Pan (2005), obras de movimentação de solo são altamente suscetíveis a períodos de precipitação acumulada, especialmente quando se exige controle rigoroso da umidade para compactação (aterros) ou estabilidade de taludes (cortes). As chuvas não apenas impedem o trabalho no dia em que ocorrem, mas também exigem um tempo adicional de retomada — intervalo necessário para que o solo volte a apresentar condições adequadas de trabalho. Este é o fundamento dos fatores adotados neste estudo.

Adicionalmente, Girardi (2018) destaca que o impacto pluviométrico é função tanto da intensidade quanto da frequência e regularidade da chuva. Assim, mesmo chuvas leves sucessivas podem gerar atrasos cumulativos significativos, se não forem devidamente consideradas no planejamento. Abaixo, segue um exemplo de um gráfico de precipitação e temperatura em Belo Horizonte. Pode-se observar a grande diferença de volume precipitado nos meses secos e chuvosos.

Figura 2 – Precipitação e temperatura em Belo Horizonte, Minas Gerais



Fonte: CLIMATEMPO, 2025.

Nos capítulos seguintes, será detalhada a metodologia de cálculo da impraticabilidade climática, incluindo a integração entre os dados históricos pluviométricos da região de estudo e os fatores de paralisação adotados. Essa metodologia será aplicada à construção de dois cenários distintos de planejamento e orçamento de obra: um sem considerar os impactos das chuvas e outro com ajustes baseados na metodologia aqui apresentada.

3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho caracteriza-se como quantitativo-descritiva, fundamentando-se na análise comparativa de prazos e custos em dois cenários distintos de execução de uma obra hipotética de terraplenagem: um que desconsidera os efeitos das chuvas no planejamento e orçamentação (cenário 1), e outro que integra uma metodologia de cálculo de impraticabilidade climática baseada em dados pluviométricos históricos e critérios técnicos de paralisação (cenário 2).

O estudo é estruturado a partir da simulação de um caso hipotético, permitindo o controle de variáveis e a aplicação sistemática dos procedimentos propostos. A abordagem quantitativa é viabilizada por meio da mensuração de variáveis como volume de solo movimentado, distância média de transporte, produtividade de equipamentos, número de dias úteis disponíveis, entre outras. A análise comparativa se dará por meio da avaliação dos impactos da variável climática (chuva) sobre o prazo total do cronograma e os custos indiretos associados à extensão do tempo de obra, como administração do canteiro, mão de obra ociosa e depreciação de equipamentos.

O desenvolvimento da metodologia compreende, em linhas gerais:

A seleção e detalhamento das composições unitárias de custo aplicáveis à escavação, transporte e compactação de solo, com base em composições do SINAPI;

- A definição de premissas técnicas e operacionais, como densidade do solo, fator de empolamento e distância de transporte;
- A coleta e organização de dados pluviométricos históricos referentes à cidade de Belo Horizonte (MG), abrangendo os últimos 10 anos;
- A aplicação de critérios de paralisação por chuva, traduzidos em fatores de retomada (em dias) conforme o volume diário precipitado;
- A construção de dois cronogramas distintos, com e sem ajuste por dias improdutivos;
- A quantificação dos impactos nos custos indiretos a partir da projeção do aumento de prazo e seus reflexos sobre despesas fixas da obra.

A modelagem e os cálculos foram realizados em ambiente de planilha eletrônica (Excel), permitindo a integração entre produtividade, custos e dados climáticos. O

objetivo final é evidenciar, de forma prática, o impacto de variáveis ambientais negligenciadas em muitos orçamentos, propondo uma metodologia acessível para sua incorporação em projetos reais.

3.2 FONTES E DADOS

Para viabilizar a modelagem dos cenários e a análise proposta neste estudo, foram utilizadas diversas fontes de dados secundários, com destaque para bases públicas e padronizadas que garantem confiabilidade, rastreabilidade e replicabilidade dos resultados. As principais fontes utilizadas são descritas a seguir:

- **Dados Pluviométricos Históricos:** Foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), por meio da plataforma BDMEP, os registros diários de precipitação da cidade de Belo Horizonte (MG), abrangendo o período de 2015 a 2024. Os dados foram organizados por mês e ano, permitindo a análise sazonal e a aplicação de critérios de impraticabilidade climática com base na frequência e intensidade das chuvas ao longo do período.
- **Composições Unitárias de Custos:** As composições de escavação com carga mecânica, transporte interno com caminhão basculante e compactação de solo foram extraídas do sistema SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), com base nos códigos 100980, 100944 e 104742, respectivamente. Os valores considerados foram aqueles publicados nas versões AF_07/2020 e AF_08/2023, conforme disponibilizado na plataforma Orçamentor.
- **Insumos de Mão de Obra Complementar:** Para cada composição principal, foi incluído o custo do servente com encargos complementares (código 88316), também conforme referência do SINAPI, representando o apoio necessário às frentes de serviço.
- **Premissas Técnicas e Operacionais:** Algumas premissas utilizadas na modelagem foram adotadas com base em referências técnicas da literatura e práticas correntes de mercado, tais como:
 - Volume escavado: 50.000 m³
 - Empolamento: fator de 1,3 (resultando em 65.000 m³ transportados)
 - Densidade do solo: 1,8 t/m³
 - Distância média de transporte (DMT): 1 km

- Ferramentas Utilizadas: A construção dos cronogramas, o cálculo dos dias improdutivos e a quantificação dos custos foram realizados em planilhas eletrônicas do Excel, com fórmulas automatizadas que integram dados de produtividade, coeficientes técnicos e volume de chuvas.

O conjunto dessas fontes permitiu a estruturação de uma análise robusta e compatível com a realidade de obras de terraplenagem, especialmente em contextos onde o risco climático pode impactar significativamente os resultados operacionais e financeiros da obra.

3.3 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMPRATICABILIDADE

No contexto das obras de terraplenagem, diversas condições podem comprometer a produtividade diária das frentes de serviço. Entre os fatores recorrentes de impraticabilidade operacional estão: diálogos de segurança (DDS), pausas obrigatórias, deslocamentos internos até as frentes de trabalho, horários de alimentação, além de eventos climáticos como chuvas. No entanto, para fins de padronização e foco metodológico, este estudo considera exclusivamente a impraticabilidade climática provocada pela chuva, como variável de análise.

A escolha por isolar a variável “chuva” justifica-se por seu caráter externo, imprevisível e frequentemente negligenciado nos planejamentos e orçamentos tradicionais. As demais fontes de improdutividades mencionadas, apesar de relevantes, são rotineiramente absorvidas nos coeficientes de produtividade ou consideradas no dimensionamento da jornada de trabalho, não sendo o foco da investigação aqui proposta.

Para transformar os dados de precipitação em impactos operacionais quantificáveis, adotou-se uma metodologia baseada em fatores de retomada. Esses fatores associam o volume diário de chuva (mm/dia) ao tempo estimado de paralisação, considerando tanto o dia da precipitação quanto o intervalo necessário para que o solo volte a apresentar condições técnicas adequadas para execução de escavações, transporte e compactações.

A Tabela 2 apresenta os critérios utilizados para conversão da precipitação diária em dias improdutivos:

Tabela 2 – Fatores de paralisação adotados conforme volume de chuva

Volume de chuva (mm/dia)	Dias parados estimados
0 a 2 mm	0 dia
2 a 5 mm	0,75 dia
5 a 10 mm	1,0 dia
10 a 15 mm	1,5 dia
> 15 mm	2,0 dias

Fonte: Autor, 2026.

Esses parâmetros são baseados em boas práticas da engenharia de campo e em estudos especializados (como Girardi, 2018), que propõem critérios objetivos para estimar a paralisação de obras frente a variabilidade climática.

A aplicação dos fatores foi feita diretamente sobre os dados históricos de precipitação diária da cidade de Belo Horizonte, organizados por mês e por ano, permitindo o cálculo do número médio de dias impraticáveis mensais. O resultado dessa análise foi utilizado para ajustar a duração do cronograma do cenário com chuva, evidenciando a ampliação do prazo total e, por consequência, o aumento dos custos indiretos associados.

3.4 MODELAGEM DOS CENÁRIOS

A etapa de modelagem dos cenários teve como objetivo avaliar o impacto da variável climática sobre o planejamento e os custos indiretos de uma obra hipotética de terraplenagem. Para isso, foram construídos dois cenários distintos, com base nas mesmas características técnicas e operacionais. A única diferença entre eles é a consideração, ou não, da impraticabilidade climática associada às chuvas.

3.4.1 Cenário 1 – Planejamento sem considerar chuvas

Neste cenário, a obra foi planejada com base em uma execução contínua e sem interrupções por fatores climáticos. Adotou-se o número padrão de 22 dias úteis por mês, sem desconto de paralisações. Essa modelagem representa o cenário mais comum na prática de pequenas e médias empresas, que, por vezes, desconsideram a influência direta da precipitação pluviométrica sobre a produtividade real do canteiro de obras.

A distribuição das atividades foi feita com base nas produtividades médias dos equipamentos, nos volumes de serviço definidos (50.000 m³ escavados e 65.000 m³

transportados), nas composições unitárias do SINAPI e na alocação de 9 operadores/motoristas como equipe base para as atividades mecanizadas.

3.4.2 Cenário 2 – Planejamento com ajuste por impraticabilidade climática

O segundo cenário adota os mesmos insumos e produtividades do primeiro, mas aplica uma metodologia específica para estimar os impactos da chuva sobre a jornada de trabalho diária. Em vez de simplesmente adicionar dias de paralisação ao cronograma, foi adotado um modelo mais detalhado, baseado na quantificação da perda média de horas por dia útil, considerando a sazonalidade das chuvas ao longo do ano.

A metodologia seguiu os seguintes passos:

1. Para cada mês do ano, foi realizada a contagem dos dias impraticáveis com base nos critérios de paralisação por volume diário de chuva (conforme Tabela 1), aplicando os fatores de retomada sobre os dados históricos de precipitação de 2015 a 2024.
2. Com isso, obteve-se o número médio de dias parados por mês, ao longo de 10 anos.
3. A partir do número de dias parados médios em cada mês, foi calculada a quantidade de horas perdidas por mês (assumindo uma jornada padrão de 8 horas/dia), e posteriormente a média de horas efetivamente trabalhadas por dia útil, para cada mês do ano.
4. Com base nessas médias mensais, ajustou-se o ritmo de execução das atividades no cronograma, respeitando a sazonalidade da produtividade. Dessa forma, os meses mais chuvosos apresentam uma taxa menor de avanço físico das frentes de trabalho, enquanto os meses secos permitem maior progresso.

Esse modelo busca representar de forma mais realista o comportamento da obra em função das chuvas, especialmente em atividades sensíveis à umidade do solo, como escavação, transporte e compactação. Em vez de assumir interrupções absolutas, a modelagem considera a redução proporcional da jornada de trabalho efetiva por mês, distribuindo o impacto climático de forma contínua ao longo do cronograma.

3.4.3 Premissas Comuns aos Dois Cenários

Ambos os cenários compartilham os seguintes parâmetros técnicos:

- Volume escavado: 50.000 m³
- Volume transportado (fator de empolamento de 1,3): 65.000 m³
- Densidade média: 1,8 t/m³
- Distância média de transporte: 1,0 km
- Composições unitárias: SINAPI (100980, 100944, 104742)
- Mão de obra base: 9 operadores/motoristas alocados para operação de escavadeira, rolo compactador e caminhão basculante, motoniveladora e caminhão pipa
- Ferramenta de modelagem: Planilhas em Excel, com fórmulas automatizadas para integração de volume, produtividade, chuvas e horas efetivas de trabalho

Essa abordagem permitiu quantificar, de forma detalhada, os reflexos da sazonalidade climática sobre o desempenho produtivo e sobre os custos indiretos, tema a ser explorado nos itens seguintes.

3.5 COMPOSIÇÕES E PLANILHA DE QUANTIDADE

Nesta etapa do estudo foram consolidadas as composições unitárias de custo associadas às três principais atividades de uma obra de terraplenagem: escavação com carga mecânica, transporte interno de solo empolado e compactação de aterros. As composições foram extraídas da base do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), acrescidas da mão de obra de sete operadores/motoristas, e seus custos unitários foram obtidos conforme valores vigentes nas versões AF_07/2020 e AF_08/2023.

As composições selecionadas foram:

- Carga, manobra e descarga com escavadeira hidráulica e caminhão basculante – SINAPI 100980
- Transporte de solo com caminhão basculante em via interna – SINAPI 100944
- Compactação com rolo compressor vibratório (pé de carneiro) – SINAPI 104742

Com base nesses parâmetros, as quantidades e unidades de serviço consideradas para cálculo dos custos diretos foram organizadas na Tabela 3:

Tabela 3 – Quantitativos de serviços adotados

Atividade	Unidade de Medida	Quantitativo
Escavação com carga mecânica	m³	50.000
Transporte interno (1 km)	m³	65.000
Compactação de solo	m³	50.000

Fonte: Autor, 2026.

Cada composição inclui os insumos de equipamentos (escavadeira, caminhão, rolo compactador), custos médios por hora (produtiva e improdutiva) e a mão de obra complementar representada por sete operadores/motoristas.

Os valores foram organizados em planilhas eletrônicas para permitir o cálculo modular dos custos por atividade e posterior comparação entre os dois cenários.

3.6 CRONOGRAMA

Todos os períodos de chuva foram devidamente contabilizados no cronograma, seguindo os parâmetros de impraticabilidade definidos na revisão teórica (item 2.3). Em outras palavras, cada dia chuvoso registrado em Belo Horizonte no período de 2015 a 2024 foi convertido em dias de paralisação (“dias parados”) conforme a intensidade da precipitação, de acordo com a escala estabelecida. Os critérios adotados foram bastante conservadores – mesmo chuvas relativamente leves já geram paralisações parciais – e estão descritos a seguir:

- Chuva de 0 a 2 mm/dia: 0 dia parado (nenhuma paralisação, precipitação insignificante).
- Chuva de 2 a 5 mm/dia: 0,75 dias parados (paralisação de aproximadamente 3/4 do dia de trabalho).
- Chuva de 5 a 10 mm/dia: 1 dia parado (o dia de trabalho é considerado impraticável).
- Chuva de 10 a 15 mm/dia: 1,5 dias parados (1 dia totalmente parado mais meio dia adicional de impacto residual).
- Chuva acima de 15 mm/dia: 2 dias parados (paralisação do dia atual e do dia seguinte, devido aos efeitos de chuvas intensas).

Esses parâmetros asseguram que todos os eventos de chuva no período analisado contribuam para ajustes no cronograma. Cada dia com precipitação foi classificado em uma das faixas acima e teve sua equivalência em dias de paralisação somada ao cronograma da obra. Desse modo, os atrasos por condições climáticas estão

plenamente incorporados: por exemplo, chuvas moderadas a fortes (acima de 5 mm em 24 horas) já impõem obstáculos significativos à execução de serviços de campo, razão pela qual nosso critério considera qualquer chuva maior que 2 mm como motivo de interrupção parcial. Essa abordagem é alinhada a metodologias conservadoras encontradas na literatura – como o método de Mattos (2015), nas quais precipitações diárias superiores a 5 mm tornam o dia impraticável para trabalho em obras. Em contraste, métodos mais brandos (e.g. Mendes, 2006) só contabilizam um dia inteiro de paralisação para chuvas acima de 20 mm, porém optamos por uma margem de segurança maior no presente estudo.

Para o cenário específico de Belo Horizonte (2015–2024), a aplicação desses critérios revelou um impacto considerável dos períodos chuvosos. A cidade apresenta em média aprox. 1129 mm de precipitação anual distribuída em 166 dias de chuva. No cronograma analisado, grande parte desses dias chuvosos – especialmente durante a estação chuvosa, de outubro a março – resultam em algum nível de paralisação. Chuvas leves (abaixo de 2 mm/dia) não interrompem os trabalhos, mas chuvas moderadas e fortes recorrentes elevam significativamente o total de dias não trabalháveis. Todos os dias chuvosos identificados entre 2015 e 2024 foram computados, totalizando dezenas de dias de paralisação por ano no cronograma. Este número está na ordem de grandeza observada em estudos similares para regiões de clima tropical chuvoso: por exemplo, métodos conservadores podem estimar cerca de 80 dias parados por ano em regiões com precipitação anual em torno de 1500 mm. Logo, os ajustes efetuados no nosso cronograma – embora simplificado em apenas três atividades – representam fielmente os atrasos acumulados pela chuva nesse período.

Vale destacar que, por se tratar de um cronograma simples com três frentes de trabalho simultâneas, não há necessidade de avaliar caminho crítico ou dependências entre tarefas nesse contexto. Qualquer dia de chuva que resulte em paralisação afeta todas as atividades simultaneamente, prolongando de forma equivalente a duração total do projeto. Em suma, asseguramos que o cronograma incorpora integralmente os impactos dos períodos chuvosos de Belo Horizonte (2015–2024) conforme os parâmetros estabelecidos em item 2.3, garantindo uma previsão realista de duração da obra considerando as interrupções climáticas esperadas.

Tabela 4 – Horas improdutivas por mês

Mês	Horas Perdidas (h/mês)	Dias Parados (h ÷ 8)
Janeiro	96 h	12 dias
Fevereiro	48 h	6 dias
Março	64 h	8 dias
Abril	24 h	3 dias
Maio	16 h	2 dias
Junho	8 h	1 dia
Julho	0 h	0 dias
Agosto	0 h	0 dias
Setembro	16 h	2 dias
Outubro	32 h	4 dias
Novembro	72 h	9 dias
Dezembro	104 h	13 dias

Fonte: Autor, 2026.

3.7 CUSTOS INDIRETOS

Neste item são abordados os custos indiretos de obra e sua estimativa mensal, destacando sua relevância no planejamento e orçamento. Custos indiretos são despesas necessárias ao funcionamento do projeto e da empresa, mas que não podem ser atribuídas diretamente a um serviço específico. Incluem, por exemplo, gastos com administração da obra, estruturas de canteiro, segurança, alojamento e outros suportes gerais. A correta estimativa e alocação desses custos é fundamental para a precisão orçamentária – uma gestão ineficaz pode levar a preços distorcidos, perda de competitividade e até inviabilizar o projeto. Além disso, em projetos de longa duração, custos indiretos aumentam proporcionalmente ao prazo: atrasos ou extensões (como as causadas por chuvas) implicam mais meses de despesas fixas em salários, equipamentos parados, manutenção do canteiro etc., onerando significativamente o empreendimento caso não tenham sido previstos adequadamente.

Metodologia de estimativa: para calcular os custos indiretos mensais típicos de uma obra de terraplenagem de médio porte, adotou-se uma abordagem baseada em valores médios de mercado atualizados em 2025. Cada categoria de custo indireto foi orçada separadamente como um custo fixo mensal, conforme recomendado por práticas de orçamento (por exemplo, orçar a Administração da Obra como despesa fixa mensal). Foram utilizadas fontes técnicas confiáveis – como a tabela SINAPI e referências sindicais – para obter preços atualizados de insumos e salários, garantindo dados realistas. Por exemplo, considerou-se a mão de obra de apoio: o

salário médio de um engenheiro civil residente em 2025 é cerca de R\$ 9,4 mil mensais e de um mestre de obras em torno de R\$ 4,2 mil (valores de carteira, sem adicionais). Esses números, somados a encargos trabalhistas e demais custos de pessoal, serviram de base para estimar o custo de administração local. De modo análogo, utilizou-se dados de convenções coletivas para benefícios obrigatórios (como alimentação dos trabalhadores) e referências de mercado para serviços terceirizados (por exemplo, vigilância do canteiro). Todos os valores foram então consolidados por categoria, chegando-se a uma estimativa mensal total para os custos indiretos, conforme detalhado a seguir.

As principais categorias de custos indiretos consideradas – e sua representatividade típica – são descritas abaixo, com seus respectivos valores médios mensais estimados:

- **Administração Local:** engloba as despesas com a equipe técnica e administrativa alocada na obra e a manutenção da estrutura de gerenciamento no canteiro. Inclui salários e encargos do engenheiro residente responsável, mestres de obras, encarregados, almoxarife e pessoal de supervisão, além de eventuais técnicos de segurança e apoio administrativo. Estes profissionais garantem o planejamento, controle de qualidade, suprimentos e gestão diária da obra. Para uma obra de médio porte, esse conjunto de mão de obra indireta gera um custo significativo: somando-se um engenheiro (remuneração média ~R\$ 9 mil), um mestre de obras (~R\$ 4 mil) e demais funcionários de apoio, acrescidos os encargos trabalhistas, estima-se cerca de R\$ 30.000,00 mensais destinados à administração local da obra.
- **Segurança Patrimonial:** refere-se às medidas de vigilância do canteiro e proteção dos equipamentos e materiais, indispensáveis sobretudo em obras a céu aberto ou em locais de grande extensão. Inclui a contratação de vigias ou vigilantes para ronda 24 horas, sistemas de controle de acesso e eventualmente monitoramento eletrônico. Em 2025, o custo de um serviço terceirizado de segurança patrimonial para um canteiro pode oscilar entre R\$ 8.000,00 e R\$ 11.000,00 por mês, dependendo do nível de cobertura e da região. No caso em estudo, considerou-se um posto de vigilância 24h, resultando em aproximadamente R\$ 10.000,00 mensais nesta categoria.

- **Alojamento e Alimentação:** abrange os gastos com hospedagem, alimentação e bem-estar dos trabalhadores no canteiro. Em obras de terraplenagem fora de centros urbanos, é comum a empresa prover alojamentos (acampamentos ou alojamentos temporários) e refeições diárias aos operários. Mesmo em obras próximas a áreas urbanas, a legislação trabalhista e as convenções coletivas exigem que se forneça alimentação subsidiada aos funcionários no local de trabalho. Segundo a Convenção Coletiva da Construção Civil de 2025, por exemplo, o tíquete-alimentação mensal por trabalhador foi fixado em R\$ 696,30 (ou R\$ 31,65 por dia efetivo de trabalho). Considerando um contingente médio de trabalhadores na obra, o custo mensal com refeições pode atingir a ordem de R\$ 20.000,00 (por exemplo, ~30 operários × ~R\$ 700 cada). Adicionalmente, se a obra exige alojamento em canteiro, há custos com manutenção de dormitórios, instalações sanitárias e refeições extras nos fins de semana (conforme exigido pelas normas). Assim, estimou-se um total em torno de R\$ 21.000,00 mensais para cobrir alojamento e alimentação dos funcionários, valor que inclui tanto os insumos alimentícios quanto a logística de preparo/serviço das refeições e a infraestrutura dos alojamentos.
- **Utilidades (Água, Energia, Comunicações):** são os custos dos insumos básicos para manter o canteiro operante. Incluem contas de energia elétrica (iluminação do canteiro, acionamento de equipamentos auxiliares, eventualmente bombeamento de água ou geração de energia por grupos geradores), abastecimento de água potável e para uso em obras, esgotamento sanitário temporário, telefone e internet do escritório de obra, entre outros. Esses consumos estão entre as despesas fixas de administração local previstas nas normas. Para uma obra de médio porte, tais utilidades foram orçadas em torno de R\$ 3.000,00 mensais. Esse montante cobre, por exemplo, a conta de luz do canteiro e do alojamento, consumo de água (incluindo caminhões-pipa se necessário) e serviços de comunicação (linha telefônica, rádio e pacote de dados de internet para a equipe do projeto). Ressalta-se que os valores reais podem variar conforme a localização (tarifas regionais) e a estrutura do canteiro – por exemplo, canteiros que operem com geradores a diesel podem ter custos de combustível incluídos aqui. Ainda assim, o valor adotado serve como média

representativa baseada em obras similares e referências de consumo estimado.

- Estruturas Provisórias do Canteiro: correspondem às instalações temporárias físicas montadas para viabilizar os trabalhos. Engloba os escritórios de obra (por exemplo, contêineres ou barracões administrativos), almoxarifados e depósitos de materiais, refeitórios e cozinhas industriais provisórias, vestiários e sanitários móveis, além de cercamentos, portarias, sinalização de obra e outras edificações não permanentes. Esses itens compõem o canteiro de obras em si e devem ser dimensionados e orçados de acordo com o porte da obra. Os custos associados incluem tanto a mobilização e instalação inicial dessas estruturas (montagem, ligações provisórias de energia/água, etc.) quanto sua operação/manutenção ao longo dos meses e, ao final, a desmobilização (desmontagem e remoção). No orçamento, é usual distribuir tais custos ao longo da duração do projeto, convertendo-os em um equivalente mensal. Para a obra em análise, estimou-se aproximadamente R\$ 3.000,00 por mês em estruturas provisórias, valor obtido pela amortização dos investimentos no canteiro (por exemplo, aluguel de módulos habitáveis, montagem de tapumes e placas de obra, instalação de tanques, etc.). Esse valor cobre, ilustrativamente, a locação de um contêiner escritório mobilhado, banheiros químicos ou estação sanitária, e demais instalações de apoio dimensionadas para uma obra de médio porte.
- Despesas Operacionais Diversas: compreende uma categoria de gastos gerais necessários para o funcionamento administrativo e operacional da obra, não enquadrados nos itens anteriores. Inclui, por exemplo, os seguros do canteiro e da obra (seguro contra riscos de engenharia, responsabilidade civil), despesas com equipamentos de proteção coletiva e individual fornecidos aos trabalhadores, material de escritório e de informática de consumo (papel, cartuchos, softwares de gerenciamento), custos de comunicação adicionais (rádios, celulares corporativos, etc.), transporte local de pessoal (veículos de apoio, combustível para caminhonetes de supervisão), manutenção de equipamentos de apoio (por exemplo, manutenção de geradores, bombas ou máquinas paradas) e eventuais serviços terceirizados de apoio (consultorias técnicas, topografia complementar, vigilância eletrônica, coleta de lixo do

canteiro, etc.). Essas despesas asseguram o funcionamento contínuo e a segurança das operações no canteiro, bem como o cumprimento de exigências legais (por exemplo, monitoramento ambiental, programas de segurança do trabalho, treinamentos periódicos conforme NR-18, etc.). Para efeitos de orçamento, foi reservada uma quantia em torno de R\$ 3.000,00 mensais para as despesas operacionais diversas. Esse montante engloba, por exemplo, o prêmio de seguros obrigatórios e variáveis como comunicações e pequenos gastos do dia a dia, funcionando também como margem para imprevistos operacionais de pequeno porte que não estejam contemplados nos custos diretos.

Tabela 5 – Estimativa de custos indiretos mensais por categoria para uma obra de terraplenagem de médio porte (valores em R\$ de 2025)

Categoria	Custo Indireto Mensal (R\$)
Administração local	R\$ 30.000,00
Segurança patrimonial	R\$ 10.000,00
Alojamento/Alimentação	R\$ 21.000,00
Utilidades (água, energia, etc.)	R\$ 3.000,00
Estruturas provisórias	R\$ 3.000,00
Despesas operacionais	R\$ 3.000,00
Total	R\$ 70.000,00

Fonte: Autor, 2026. Elaborado com base em SINAPI, dados sindicais e literatura técnica sobre custos indiretos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em SINAPI, dados sindicais e literatura técnica sobre custos indiretos.

No contexto do planejamento econômico-financeiro, esses custos indiretos mensais – da ordem de dezenas de milhares de reais por mês – exercem impacto considerável no orçamento de obras de terraplenagem. É imprescindível incorporá-los de forma adequada na composição do BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) ou em planilhas específicas, para que o orçamento reflita o custo real do empreendimento e a empresa mantenha sua margem de lucro mesmo diante de oscilações no cronograma. Em suma, a estimativa detalhada apresentada assegura que o efeito das chuvas (ou de quaisquer interferências que estendam a duração da obra) possa ser quantificado em termos financeiros, evidenciando o acréscimo de custos indiretos decorrente de prolongamentos de prazo. Tal abordagem reforça a importância de um planejamento realista e serve de subsídio para análises de viabilidade e tomada de decisão durante a gestão do projeto.

3.8 CUSTOS DIRETOS

Neste item são apresentados os custos diretos adotados para a frente de terraplenagem analisada. Conforme a literatura de orçamentação de obras, custos diretos são aqueles que podem ser identificados, quantificados e mensurados objetivamente na planilha orçamentária, correspondendo aos gastos diretamente associados à execução do serviço, tais como materiais, equipamentos e mão de obra, acrescida dos respectivos encargos sociais quando cabíveis.

Para o presente estudo, optou-se por compor os custos diretos apenas com duas parcelas principais: locação mensal dos equipamentos e mão de obra operacional. Essa simplificação é compatível com o escopo do trabalho e permite representar, de forma objetiva, o custo recorrente necessário à execução da terraplenagem. Assim, foi considerado um aluguel fixo mensal para cada equipamento mobilizado, independentemente de variações de utilização horária ao longo do mês. O conjunto mecanizado adotado é composto por quatro caminhões basculantes de 12 m³, duas escavadeiras hidráulicas de 20 t, um rolo compactador liso, uma motoniveladora e um caminhão pipa. Para operar esse sistema produtivo, foram previstos cinco motoristas de caminhão e quatro operadores de equipamentos, correspondentes à operação da escavadeira e do rolo compactador. Este custo fixo mensal dos equipamentos engloba todo o gasto com combustível, manutenção, troca de óleo, troca de material rodante, entre outros.

No caso da mão de obra, os salários-base adotados foram de R\$ 3.000,00 para cada motorista e de R\$ 3.500,00 para cada operador. Sobre esses valores, aplicou-se encargo social total de 80%.

A partir dessas premissas, o subtotal mensal da locação dos equipamentos foi de R\$ 205.000,00, sendo R\$ 80.000,00 referentes aos quatro caminhões basculantes, R\$ 70.000,00 às escavadeiras hidráulicas, R\$ 20.000,00 ao rolo compactador, R\$ 15.000,00 ao caminhão pipa, R\$ 20.000,00 à motoniveladora. Para a mão de obra, o subtotal dos salários-base foi de R\$ 29.000,00 por mês, dos quais R\$ 15.000,00 correspondem aos cinco motoristas e R\$ 14.000,00 aos quatro operadores. Aplicando-se os encargos sociais de 80%, obteve-se valor adicional de R\$ 23.200,00, resultando em R\$ 52.200,00 mensais de custo total de mão de obra. Dessa forma, o custo direto mensal total adotado para a operação de terraplenagem foi de R\$ 257.200,00.

Tabela 6 – Custos diretos mensais

Categoria	Quantidade	Valor unitário	Subtotal mensal
Caminhão basculante (12 m ³)	4	R\$ 20.000,00	R\$ 80.000,00
Escavadeira hidráulica (20 t)	2	R\$ 35.000,00	R\$ 70.000,00
Rolo compactador liso	1	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00
Motoniveladora	1	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00
Caminhão Pipa	1	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Subtotal de equipamentos			R\$ 205.000,00
Motorista de caminhão	5	R\$ 3.000,00	R\$ 15.000,00
Operador de equipamentos	4	R\$ 3.500,00	R\$ 14.000,00
Subtotal dos salários-base			R\$ 29.000,00
Encargos sociais	80% sobre salários		R\$ 23.200,00
Subtotal de mão de obra com encargos			R\$ 52.200,00
Total de custos diretos mensais			R\$ 257.200,00

Fonte: Autor, 2026

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DETERMINAÇÃO DAS HORAS PRODUTIVAS MENSAIS

Conforme descrito na metodologia, a modelagem dos cenários foi realizada a partir da incorporação da influência das chuvas sobre a disponibilidade de horas produtivas ao longo do ano. Para isso, foram utilizados os dados pluviométricos históricos da cidade de Belo Horizonte (MG), abrangendo o período de 2015 a 2024, processados segundo os critérios de impraticabilidade apresentados no Capítulo 3.

A aplicação dos fatores de paralisação permitiu estimar, para cada mês do ano, a quantidade média de horas improdutivas decorrentes das precipitações e, consequentemente, a disponibilidade média de horas efetivamente trabalháveis. O resultado desse processamento encontra-se apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Horas improdutivas e produtivas médias por mês

Mês	Horas improdutivas (h)	Horas produtivas (h)	Horas trabalháveis por dia (h/dia)
Janeiro	96	80	3,64
Fevereiro	48	128	5,82
Março	64	112	5,09
Abril	24	152	6,91
Maio	16	160	7,27
Junho	8	168	7,64
Julho	0	176	8,00
Agosto	0	176	8,00
Setembro	16	160	7,27
Outubro	32	144	6,55
Novembro	72	104	4,73
Dezembro	104	72	3,27

Fonte: Autor, 2026

Observa-se uma clara sazonalidade na disponibilidade de horas produtivas ao longo do ano. Os meses compreendidos entre junho e agosto apresentam as melhores condições operacionais, registrando valores próximos à jornada integral de oito horas diárias. Em contrapartida, os meses de novembro a março apresentam significativa redução da produtividade potencial devido à maior incidência de chuvas, característica típica do regime climático da região metropolitana de Belo Horizonte.

Os resultados evidenciam que a simples escolha da data de início da obra pode influenciar significativamente o prazo final de execução. Dessa forma, a utilização de calendários produtivos ajustados às condições climáticas representa uma ferramenta

importante para o desenvolvimento de cronogramas mais realistas e aderentes às condições efetivamente encontradas em campo.

4.2 DEFINIÇÃO DAS ATIVIDADES E DURAÇÃO DOS SERVIÇOS

A obra hipotética adotada neste estudo foi estruturada a partir de três atividades principais representativas de uma operação convencional de terraplenagem: escavação e carga do material, transporte interno e compactação do aterro.

Para determinação dos custos e produtividades foram utilizadas composições unitárias do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), selecionadas por sua compatibilidade com as características da obra analisada. As composições utilizadas foram:

- Composição SINAPI 100980 – Carga, manobra e descarga de solos e materiais granulares em caminhão basculante;
- Composição SINAPI 100944 – Transporte com caminhão basculante em via interna;
- Composição SINAPI 104742 – Compactação de solos com rolo compactador.

Os quantitativos considerados foram definidos a partir das premissas apresentadas no Capítulo 3, sendo adotados 50.000 m³ para escavação, 65.000 m³ para transporte e 50.000 m³ para compactação.

A Tabela Y apresenta os quantitativos, produtividades e durações calculadas para cada atividade.

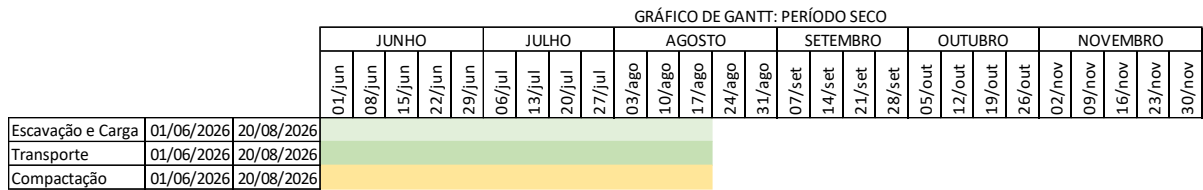
Tabela 8 – Quantitativos e duração das atividades

Atividade	Unidade	Quantidade	Produtividade	Duração (horas)
Escavação e carga	m ³	50.000	120 m ³ /h	416,67
Transporte	m ³	65.000	144 m ³ /h	451,39
Compactação	m ³	50.000	300 m ³ /h	166,67

Fonte: Autor, 2026

As três atividades de escavação, transporte e compactação foram consideradas simultâneas, uma vez que representam etapas integradas do processo de terraplenagem. Dessa forma, a duração do empreendimento é determinada pela atividade de maior duração, correspondente a 451,39 horas.

Nota-se que a atividade crítica do projeto é a atividade de transporte, pois é a atividade com maior duração, portanto não há folga na sua execução. Já as atividades



Fonte: Autor, 2026

4.4 COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS DE EXECUÇÃO

4.4.1 Cenário 1 – Início da obra em junho

Considerando o início da execução em junho, a obra atravessa predominantemente meses de baixa incidência pluviométrica. Nesse período, a disponibilidade acumulada de horas produtivas é elevada, permitindo que a maior parte das atividades seja executada durante a estação seca.

A partir dos valores apresentados na Tabela 7, observa-se que os meses de junho e julho disponibilizam conjuntamente 344 horas produtivas. Assim, ao final de agosto restam apenas 107,39 horas para conclusão do empreendimento, as quais são executadas durante o mês de agosto.

Dessa forma, a conclusão da obra ocorre aproximadamente na metade do mês de agosto, resultando em uma duração total próxima de dois meses e meio.

4.4.2 Cenário 2 – Início da obra em novembro

Quando a obra é iniciada em novembro, o cronograma passa a atravessar os meses mais chuvosos do ano. Como consequência direta, a disponibilidade de horas produtivas é significativamente reduzida.

Somando-se as horas produtivas disponíveis entre novembro e fevereiro, obtém-se um total de 384 horas. Como a duração técnica do empreendimento é de 451,39 horas, permanecem ainda 67,39 horas a serem executadas após o término de fevereiro.

Esse saldo é concluído ao longo do mês de março, resultando em uma duração total próxima de quatro meses e meio.

A comparação entre os dois cenários demonstra que a alteração da data de mobilização, mesmo mantendo os demais parâmetros constantes, produz um impacto expressivo sobre o prazo final da obra.

4.5 IMPACTO DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA NO PLANEJAMENTO

Os resultados obtidos demonstram que a variável climática exerce influência direta sobre o desempenho temporal de obras de terraplenagem. Embora a duração técnica calculada para o empreendimento seja de 451,39 horas, o tempo efetivamente necessário para sua conclusão varia significativamente em função do período do ano em que a execução é iniciada.

No cenário iniciado em junho, a obra foi concluída em aproximadamente 2,6 meses, aproveitando a elevada disponibilidade de horas produtivas característica do período seco. Em contrapartida, o cenário iniciado em novembro demandou aproximadamente 4,6 meses para conclusão, em razão da expressiva redução das horas disponíveis durante a estação chuvosa.

Verifica-se, portanto, um aumento de aproximadamente 72,84% na duração total da obra quando a execução é iniciada durante o período de maior incidência pluviométrica.

Esse resultado evidencia a importância da incorporação de critérios de impraticabilidade climática durante as etapas de planejamento e orçamentação. A desconsideração dessa variável pode conduzir à elaboração de cronogramas inexecutáveis e à subestimação dos custos indiretos associados à permanência prolongada de equipes, equipamentos e estruturas de apoio no canteiro de obras.

4.6 ANÁLISE DOS CUSTOS DIRETOS E INDIRETOS

Após a definição dos cronogramas para os cenários de início da obra em período seco e em período chuvoso, procedeu-se à análise dos impactos financeiros decorrentes da diferença de prazo observada entre os dois casos.

Conforme apresentado anteriormente, a duração da obra iniciada em período seco foi de aproximadamente 2,6 meses, compreendendo o período entre 01 de junho de 2026 e 20 de agosto de 2026. Já o cenário iniciado em período chuvoso apresentou duração equivalente a 4,6 meses, com execução entre 01 de novembro de 2026 e 20 de março de 2027.

Para efeito de cálculo dos custos totais, foram considerados tanto os custos diretos quanto os custos indiretos associados à manutenção da operação durante todo o

período de execução. Nos meses de término da obra foi adotada proporcionalidade em relação ao período efetivamente trabalhado, considerando 60% dos custos referentes ao mês de agosto de 2026 e 60% dos custos referentes ao mês de março de 2027.

4.6.1 Custos Diretos

Os custos diretos foram compostos pelos equipamentos utilizados na operação e pela mão de obra necessária para sua operação.

A frota considerada foi composta por quatro caminhões basculantes, duas escavadeiras hidráulicas, um rolo compactador, uma motoniveladora e um caminhão pipa. Os valores mensais de locação adotados foram de R\$ 20.000,00 para cada caminhão basculante, R\$ 35.000,00 para cada escavadeira hidráulica, R\$ 20.000,00 para o rolo compactador, R\$ 20.000,00 para a motoniveladora e R\$ 15.000,00 para o caminhão pipa.

Vale ressaltar que o caminhão pipa e a motoniveladora são equipamentos de apoio necessários para a realização das atividades de terraplanagem.

Em relação à mão de obra, foram considerados cinco motoristas de caminhão e quatro operadores de equipamentos. Os salários-base adotados foram de R\$ 3.000,00 para os motoristas e R\$ 3.500,00 para os operadores, acrescidos de 80% referentes aos encargos sociais e trabalhistas.

A Tabela 9 apresenta o resumo dos custos diretos mensais considerados.

Tabela 9 – Custos diretos mensais

Item	Valor mensal (R\$)
Caminhões basculantes (4 unidades)	80.000,00
Escavadeiras hidráulicas (2 unidades)	70.000,00
Rolo compactador (1 unidade)	20.000,00
Motoniveladora (1 unidade)	20.000,00
Caminhão pipa (1 unidade)	15.000,00
Mão de obra com encargos	52.200,00
Total de custos diretos	257.200,00

Fonte: Autor, 2026

4.6.2 Custos Indiretos

Os custos indiretos contemplam as despesas necessárias para manutenção da estrutura administrativa e operacional da obra, independentemente da quantidade produzida.

Foram considerados custos relativos à administração local, segurança patrimonial, alojamento e alimentação dos colaboradores, utilidades (água, energia elétrica e comunicação), estruturas provisórias e despesas operacionais gerais.

A Tabela 10 apresenta os valores mensais adotados para cada categoria.

Tabela 10 – Custos indiretos mensais

Item	Valor mensal (R\$)
Administração local	30.000,00
Segurança patrimonial	10.000,00
Alojamento e alimentação	21.000,00
Utilidades	3.000,00
Estruturas provisórias	3.000,00
Despesas operacionais	3.000,00
Total de custos indiretos	70.000,00

Fonte: Autor, 2026

Somando-se os custos diretos e indiretos, obteve-se um custo mensal total de R\$ 327.200,00 para manutenção da operação.

4.6.3 Comparação dos Cenários

A partir dos cronogramas desenvolvidos, foi possível determinar o custo total de execução para cada cenário analisado.

No cenário iniciado em junho de 2026, correspondente ao período seco, a duração total da obra foi equivalente a 2,6 meses, resultando em um custo total de R\$ 850.720,00.

Já no cenário iniciado em novembro de 2026, correspondente ao período chuvoso, a duração total da obra atingiu 4,6 meses, resultando em um custo total de R\$ 1.505.120,00.

A Tabela 11 apresenta a comparação consolidada dos resultados.

Tabela 11 – Comparação financeira entre os cenários

Indicador	Período seco	Período chuvoso
Data de início	01/06/2026	01/11/2026
Data de término	20/08/2026	20/03/2027
Duração (dias corridos)	81	140
Duração equivalente (meses)	2,6	4,6
Custo total (R\$)	850.720,00	1.505.120,00

Fonte: Autor, 2026

A diferença absoluta entre os cenários foi de R\$ 640.400,00, representando um aumento de aproximadamente 76,92% no custo total da obra quando iniciada durante o período chuvoso.

Os resultados demonstram que, embora os quantitativos executados permaneçam exatamente os mesmos em ambos os cenários, a extensão do prazo ocasionada pela redução da disponibilidade de horas produtivas gera um aumento significativo dos custos totais do empreendimento. Esse aumento decorre principalmente da necessidade de manter mobilizados os equipamentos, a mão de obra e toda a estrutura administrativa e operacional por um período maior de tempo.

Dessa forma, verifica-se que a não consideração da sazonalidade climática durante as etapas de planejamento e orçamentação pode resultar em significativa subestimação dos custos e dos prazos da obra. A aplicação da metodologia de impraticabilidade climática proposta neste estudo permitiu quantificar objetivamente esse impacto, evidenciando a importância da incorporação de variáveis climáticas nos processos de planejamento de obras de terraplenagem.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar a influência da aplicação de uma metodologia de cálculo de impraticabilidade climática no planejamento e na orçamentação de obras de terraplenagem, avaliando os impactos da sazonalidade das chuvas sobre os prazos e custos de execução. Para isso, foram comparados dois cenários de uma obra hipotética de movimentação de terra, utilizando os mesmos quantitativos, equipamentos, equipe operacional e produtividade, diferenciando-se apenas pela consideração dos efeitos das chuvas sobre a disponibilidade de horas produtivas.

A partir dos dados pluviométricos históricos da cidade de Belo Horizonte, referentes ao período de 2015 a 2024, foi possível determinar a quantidade média de horas produtivas disponíveis em cada mês do ano, considerando os fatores de impraticabilidade climática definidos para as atividades de terraplenagem. Essa abordagem permitiu transformar informações climáticas históricas em parâmetros diretamente aplicáveis ao planejamento executivo da obra.

Os resultados obtidos demonstraram que a influência das chuvas sobre a duração do empreendimento é significativa. Embora a duração técnica da obra tenha sido estimada em 451,39 horas, a data de início das atividades provocou diferenças expressivas no prazo total de execução. No cenário iniciado em junho de 2026, período caracterizado por menor incidência pluviométrica, a obra foi concluída em 20 de agosto de 2026, totalizando 81 dias corridos. Por outro lado, quando iniciada em novembro de 2026, período correspondente ao início da estação chuvosa, a conclusão ocorreu apenas em 20 de março de 2027, resultando em uma duração de 140 dias corridos. Dessa forma, observou-se um aumento de aproximadamente 72,84% no prazo total da obra em função da sazonalidade climática.

Os impactos financeiros apresentaram comportamento semelhante. Considerando os custos diretos associados à mobilização dos equipamentos e da mão de obra, bem como os custos indiretos relacionados à administração local, segurança patrimonial, alimentação, utilidades e demais despesas de suporte, verificou-se que o prolongamento do cronograma provocou aumento expressivo no custo total do empreendimento. O cenário executado em período seco apresentou custo estimado de R\$ 850.720,00, enquanto o cenário iniciado em período chuvoso atingiu R\$

1.505.120,00. A diferença observada foi de R\$ 654.400,00, correspondente a um acréscimo de aproximadamente 76,92%.

Esses resultados respondem diretamente à pergunta de pesquisa proposta, demonstrando que a incorporação de metodologias de cálculo de impraticabilidade climática pode alterar substancialmente as estimativas de prazo e custo de obras de terraplenagem. A não consideração da variável climática tende a produzir cronogramas excessivamente otimistas e orçamentos subdimensionados, comprometendo a previsibilidade financeira e operacional dos empreendimentos.

Além dos resultados quantitativos, o estudo reforça a importância do planejamento como ferramenta estratégica para mitigação de riscos na construção civil. A utilização de dados históricos de precipitação associados a critérios objetivos de paralisação mostrou-se uma alternativa simples, acessível e compatível com a realidade de empresas de pequeno e médio porte, podendo ser implementada por meio de ferramentas amplamente disponíveis, como planilhas eletrônicas.

Do ponto de vista prático, o trabalho demonstra que a definição do período de mobilização de uma obra pode representar uma oportunidade relevante de otimização de prazo e redução de custos. Do ponto de vista metodológico, evidencia a viabilidade da integração entre dados climáticos históricos, produtividade e orçamento em uma única ferramenta de análise. Já sob a perspectiva acadêmica, contribui para ampliar a discussão acerca da influência das variáveis ambientais no planejamento de obras de engenharia civil, tema ainda pouco explorado de forma quantitativa na literatura nacional.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros ampliem a metodologia proposta para contemplar diferentes regiões climáticas do país, outros tipos de serviços de construção civil e variáveis adicionais que também influenciam a produtividade das obras, como condições geotécnicas, disponibilidade de recursos, interrupções operacionais e eventos climáticos extremos. A incorporação desses fatores poderá contribuir para o desenvolvimento de modelos de planejamento cada vez mais realistas e aderentes às condições efetivamente encontradas em campo.

REFERÊNCIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Hidroweb. Brasília, DF: ANA, [s.d.].

ASKEW, W. H.; AL-JIBOURI, S. H. S.; MAWDESLEY, M. J.; PATTERSON, D. E. Planning linear construction projects: automated method for the generation of earthwork activities. *Automation in Construction*, v. 11, n. 2002, p. 643–653, 2002.

BERNARDES, Mauricio Moreira e Silva. Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção. 2001. 282 f. Tese (Doutorado em Eng. Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

COELHO, Dilson Machado. Estimativa dos dias parados em obras de engenharia em função da chuva. 2015. 15 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2015.

DUARTE, Thyago de Oliveira. Desenvolvimento de planilha eletrônica para a distribuição de materiais em obras de terraplenagem. 2013. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

GIRARDI, Glauco. A importância da praticabilidade no planejamento. LinkedIn, 16 jan. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Sobre meteorologia. Brasília, DF: INMET, [s.d.].

LARROSA INSFRÁN, Andres Antonio. Um sistema para planejamento operacional de obras de rodovias. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001

MAXIMIANO, Antonio César Amaru. Teoria geral da administração: da revolução urbana à revolução digital. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1995.

MATTOS, Aldo Dórea. Planejamento e controle de obras. São Paulo: Pini, 2010.

OLIVEIRA, Djalma de Pinho Rebouças de. Planejamento estratégico: conceitos, metodologia e práticas. 23. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

PAN, Nang-Fei. Assessment of productivity and duration of highway construction activities subject to impact of rain. *Expert Systems with Applications*, [S.l.], v. 28, n. 2, p. 313-326, 2005. DOI: 10.1016/j.eswa.2004.10.011.

RICARDO, Hélio de Souza; CATALANI, Guilherme. Manual prático de escavação: terraplenagem e escavação de rocha. 3. ed. São Paulo: Pini, 2007.

SILVA, Marize Santos Teixeira Carvalho. Planejamento e controle de obras. 2011. 98 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

ZYNGER, Lisiane. Análise da interferência das condições climáticas na execução de serviços na construção civil: subsídio para planejamentos e contratos. 2000. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

CATERPILLAR. Swell & void percentage, load factors. Peoria: Caterpillar, 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de implantação básica de rodovia. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT/IPR, 2010. Publicação IPR 742.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
Av. Amazonas, 7675 – Bairro Nova Gameleira – Belo Horizonte - MG
Departamento de Engenharia Civil - Prédio 12 - Telefone: (31) 3319-6810 – secretaria@civil.cefetmg.br

TERMO DE ACEITE FINAL - ORIENTADOR

Titulo do TCC:	ANÁLISE INTEGRADA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENÇÃO EM OBRAS DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA: IMPACTO DAS CHUVAS NA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA
Data defesa:	15/06/2026
Discente:	Ciro Henrique Machado Ribeiro Lopes
Orientador:	Flávio Padula

Eu, **Ciro Henrique Machado Ribeiro Lopes** declaro que todas as sugestões de correção e melhoria indicadas pela banca de avaliação de meu Trabalho de Conclusão de Curso e acordadas com meu Prof. Orientador foram implementadas no texto e entregues ao mesmo, Prof(a). **Flávio Padula** para validação final.

Documento assinado digitalmente
gov.br **CIRO HENRIQUE MACHADO RIBEIRO LOPES**
Data: 26/06/2026 09:13:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

De acordo: Belo Horizonte, 26 de junho de 2026,

Assinatura do Discente

Declaro ter recebido e conferido a versão final do texto e que as sugestões de correção e melhorias indicadas pela banca e acatadas por mim foram implementadas.

Documento assinado digitalmente
gov.br **FLAVIO RENATO DE GOES PADULA**
Data: 26/06/2026 10:47:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

De acordo: Belo Horizonte, 26 de junho de 2026,

Assinatura do Orientador



FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC N° 5/2026 - DEC (11.56.07)

N° do Protocolo: 23062.034519/2026-18

Belo Horizonte-MG, 03 de julho de 2026.

CIRO HENRIQUE MACHADO RIBEIRO LOPES

**ANÁLISE INTEGRADA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTAÇÃO EM OBROAS DE
MOVIMENTAÇÃO DE TERRA: impacto das chuvas na viabilidade técnico-econômica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, do Campus Nova Gameleira, como parte do requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção Civil.

Aprovado em 15 de junho de 2026

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Flávio Renato de Góes Padula - Orientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Dr. Cláudio José Martins
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Msc. Eduardo de Oliveira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

**BELO HORIZONTE
2026**

(Assinado digitalmente em 06/07/2026 10:41)

CLAUDIO JOSE MARTINS
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DEC (11.56.07)
Matrícula: ###594#1

(Assinado digitalmente em 04/07/2026 10:35)

EDUARDO DE OLIVEIRA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO
DEC (11.56.07)
Matrícula: ###215#8

(Assinado digitalmente em 06/07/2026 14:10)

FLAVIO RENATO DE GOES PADULA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DEC (11.56.07)

Matrícula: ###536#9

(Assinado digitalmente em 06/07/2026 08:25)

Ciro Henrique Machado Ribeiro Lopes

DISCENTE

Matrícula: 2015#####9

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 5, ano: 2026, tipo: **FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC**, data de emissão: 03/07/2026 e o código de verificação: 988acae1d5

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

CIRO HENRIQUE MACHADO RIBEIRO LOPES

ANÁLISE INTEGRADA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTAÇÃO EM
OBRAS DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA: IMPACTO DAS CHUVAS NA
VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA

BELO HORIZONTE

2026

CIRO HENRIQUE MACHADO RIBEIRO LOPES

**ANÁLISE INTEGRADA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTAÇÃO EM
OBRAS DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA: IMPACTO DAS CHUVAS NA
VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado no Curso de Graduação em
Engenharia de Produção Civil do Centro
Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Produção Civil.

Orientador: Flávio Padula

BELO HORIZONTE

2026

L864a Lopes, Ciro Henrique Machado Ribeiro
Análise integrada de planejamento e orçamentação em obras de movimentação de terra: impacto das chuvas na viabilidade técnico-econômica / Ciro Henrique Machado Ribeiro Lopes – 2026.
56 f. : il., gráfs., tabs.

Trabalho de conclusão de curso apresentado no curso de graduação no Programa de Graduação em Engenharia de Produção Civil.
Orientador: Flávio Renato Padula.
Bibliografia: f. 55-56.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil.

1. Indústria da construção civil – Administração – Teses. 2. Produção enxuta – Teses. 3. Engenharia geotécnica – Teses. 4. Planejamento da produção – Teses. 5. Controle de produção – Teses. 6. Produtividade – Teses. 7. Gestão da qualidade total – Teses. I. Padula, Flavio Renato. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD 624.151

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

CIRO HENRIQUE MACHADO RIBEIRO LOPES

**ANÁLISE INTEGRADA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTAÇÃO EM
OBRAS DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRA: IMPACTO DAS CHUVAS NA
VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Programa de
Graduação em Engenharia de Produção
Civil do Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como
requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de
Produção Civil.

Aprovado em 15/06/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Flavio Padula – Orientador

Prof. Cláudio Martins

Prof. Eduardo Oliveira

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Carlos e Cristina, que sempre estiveram ao meu lado ao longo desta caminhada. Agradeço também aos meus professores e à instituição CEFET-MG, que contribuíram para a minha formação pessoal e profissional ao longo destes anos. Agradeço especialmente ao professor Flávio pela disponibilidade e dedicação durante a orientação deste trabalho. Deixo um abraço especial aos amigos que fiz no CEFET-MG, que sempre estiveram comigo durante a minha jornada acadêmica e que, tenho certeza, também estarão presentes em minha trajetória profissional.

RESUMO

As obras de terraplenagem são particularmente sensíveis às condições climáticas, uma vez que a ocorrência de chuvas pode comprometer a escavação, o transporte e a compactação dos solos, reduzindo a disponibilidade de horas produtivas e ampliando os custos de execução. Diante disso, este trabalho teve como objetivo analisar a influência da sazonalidade pluviométrica no planejamento e na orçamentação de uma obra hipotética de movimentação de terra, avaliando seus impactos sobre o prazo e o custo total do empreendimento. A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma abordagem quantitativo-descritiva, com base em dados históricos de precipitação registrados em Belo Horizonte, Minas Gerais, entre 2015 e 2024. Os eventos de chuva foram classificados conforme o volume diário precipitado e convertidos em períodos de paralisação por meio da aplicação de fatores de retomada. A partir desses parâmetros, foram calculadas as horas produtivas médias mensais e elaborados dois cronogramas de execução, considerando os mesmos quantitativos, equipamentos, mão de obra e produtividades, mas com datas de início distintas: junho, durante o período predominantemente seco, e novembro, no início da estação chuvosa. No cenário iniciado em junho, a obra apresentou duração de 81 dias corridos, equivalentes a 2,60 meses, e custo total estimado em R\$ 850.720,00. No cenário iniciado em novembro, a duração aumentou para 140 dias corridos, equivalentes a 4,6 meses, elevando o custo total para R\$ 1.505.120,00. A diferença de R\$ 654.400,00 representa um acréscimo aproximado de 76,92% no custo do empreendimento. Os resultados demonstram que a desconsideração da sazonalidade climática pode provocar subestimações relevantes de prazo e orçamento, comprometendo a viabilidade técnico-econômica das obras. Conclui-se que a incorporação de dados pluviométricos históricos e fatores de retomada constitui uma ferramenta acessível e eficaz para aprimorar o planejamento de serviços de terraplenagem.

Palavras-chave: Chuvas. Obras de terraplenagem. Orçamentação. Planejamento.

ABSTRACT

Earthworks are particularly sensitive to weather conditions, since rainfall can affect soil excavation, transportation, and compaction activities, reducing the availability of productive working hours and increasing execution costs. Therefore, this study aimed to analyze the influence of rainfall seasonality on the planning and budgeting of a hypothetical earthmoving project, assessing its impacts on the project schedule and total cost. The research was developed through a quantitative-descriptive approach based on historical rainfall data recorded in Belo Horizonte, Minas Gerais, between 2015 and 2024. Rainfall events were classified according to the daily precipitation volume and converted into downtime periods through the application of recovery factors. Based on these parameters, the average monthly productive hours were calculated, and two execution schedules were prepared considering the same quantities, equipment, workforce, and productivity rates, but with different starting dates: June, during the predominantly dry season, and November, at the beginning of the rainy season. In the scenario starting in June, the project had a duration of 81 calendar days, equivalent to 2.6 months, and an estimated total cost of BRL 850.720.00. In the scenario starting in November, the duration increased to 140 calendar days, equivalent to 4.60 months, raising the total cost to BRL 1,505,120.00. The difference of BRL 654,400.00 represents an approximate 76.92% increase in the project cost. The results demonstrate that disregarding rainfall seasonality may lead to significant underestimations of schedule and budget, compromising the technical and economic feasibility of earthworks. It is concluded that incorporating historical rainfall data and recovery factors is an accessible and effective tool for improving the planning of earthmoving activities.

Key-Words: Budgeting. Earthworks. Planning. Rainfall.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Grau de Oportunidade de Mudança x Tempo	21
Figura 2 – Precipitação e temperatura em Belo Horizonte, Minas Gerais	28
Figura 3 – Comparação: Gráfico de Gantt	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produtividade dos Equipamentos	17
Tabela 2 – Fatores de paralisação adotados conforme volume de chuva	33
Tabela 3 – Quantitativos de serviços adotados	36
Tabela 4 – Horas improdutivas por mês	38
Tabela 5 – Estimativa de custos indiretos mensais por categoria para uma obra de terraplenagem de médio porte (valores em R\$ de 2025)	42
Tabela 6 – Custos diretos mensais.....	44
Tabela 7 – Horas improdutivas e produtivas médias por mês	45
Tabela 8 – Quantitativos e duração das atividades	46
Tabela 9 – Custos diretos mensais.....	50
Tabela 10 – Custos indiretos mensais	51
Tabela 11 – Comparação financeira entre os cenários.....	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 PERGUNTA DE PESQUISA	11
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo geral	11
1.2.2 Objetivos específicos.....	11
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	11
1.4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA	12
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	12
2 REVISÃO TEÓRICA.....	14
2.1 OBRAS DE TERRAPLENAGEM.....	14
2.1.1 Conceitos e finalidades	14
2.1.2 Etapas e equipamentos utilizados	15
2.1.2.1 Escavação	15
2.1.2.2 Carga e transporte	15
2.1.2.3 Descarga e espalhamento	15
2.1.2.4 Compactação.....	15
2.1.2.5 Conformação final.....	16
2.1.3 Características técnicas e produtividades típicas	16
2.1.3.1 Características técnicas relevantes	16
2.1.3.2 Produtividades típicas por equipamento	17
2.1.3.3 Considerações operacionais.....	17
2.1.4 Empolamento do solo em escavação.....	18
2.2 PLANEJAMENTO DE OBRAS	20
2.2.1 Conceitos e importância do planejamento.....	20
2.2.2 Tipos de planejamento (estratégico, tático e operacional)	22
2.2.2.1 Planejamento estratégico	22
2.2.2.2 Planejamento tático	22
2.2.2.3 Planejamento operacional	23
2.2.3 Metodologias e ferramentas de apoio ao planejamento	23

2.2.3.1	Gráfico de Gantt	23
2.2.3.2	Método do caminho crítico (CPM)	24
2.2.3.3	Método de diagrama de precedência (PDM)	24
2.2.3.4	Linha de balanço (“ <i>line of balance</i> ” – LOB).....	24
2.2.3.5	Softwares de Planejamento	24
2.2.4	Riscos e incertezas no planejamento de obras	25
2.2.4.1	Interferências climáticas	26
2.2.4.2	Variabilidade de solo e geotecnia	26
2.2.4.3	Falhas de projeto e revisões técnicas.....	26
2.2.4.4	Logística, suprimentos e recursos	26
2.2.4.5	Riscos contratuais e institucionais	27
2.3	VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E CONSTRUÇÃO CIVIL: PLUVIOMETRIA E CLASSIFICAÇÃO DAS CHUVAS	27
3	METODOLOGIA.....	30
3.1	DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA.....	30
3.2	FONTES E DADOS	31
3.3	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMPRATICABILIDADE.....	32
3.4	MODELAGEM DOS CENÁRIOS	33
3.4.1	Cenário 1 – Planejamento sem considerar chuvas	33
3.4.2	Cenário 2 – Planejamento com ajuste por impraticabilidade climática	34
3.4.3	Premissas Comuns aos Dois Cenários	35
3.5	COMPOSIÇÕES E PLANILHA DE QUANTIDADE	35
3.6	CRONOGRAMA.....	36
3.7	CUSTOS INDIRETOS.....	38
3.8	CUSTOS DIRETOS	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	DETERMINAÇÃO DAS HORAS PRODUTIVAS MENSAIS	45
4.2	DEFINIÇÃO DAS ATIVIDADES E DURAÇÃO DOS SERVIÇOS	46
4.4.1	Cenário 1 – Início da obra em junho.....	48
4.4.2	Cenário 2 – Início da obra em novembro.....	48
4.6.1	Custos Diretos	50
4.6.2	Custos Indiretos.....	50

4.6.3 Comparação dos Cenários	51
5 CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIA	55

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é, por natureza, exposta a múltiplas variáveis que podem comprometer o desempenho técnico, econômico e cronológico dos empreendimentos. Dentre essas variáveis, as condições climáticas se destacam como uma das mais impactantes, sobretudo em obras executadas a céu aberto, como é o caso das atividades de terraplenagem. Chuvas intensas ou recorrentes podem causar paralisações, deteriorar o solo e afetar a eficiência dos equipamentos, gerando atrasos significativos no cronograma e aumento nos custos indiretos e diretos.

Apesar de amplamente reconhecida entre profissionais da área, a influência do regime pluviométrico ainda é subestimada ou negligenciada nos orçamentos e planejamentos de obras, especialmente por empresas de pequeno e médio porte. Isso compromete a confiabilidade das estimativas e pode resultar em penalidades contratuais, aumento do custo global do empreendimento e, em casos mais críticos, na inviabilidade da execução.

Neste contexto, torna-se necessário o desenvolvimento de metodologias simples, porém eficazes, que permitam incorporar a variável climática no planejamento de obras, não apenas como um fator de risco genérico, mas com base em dados históricos e critérios técnicos objetivos. A aplicação de fatores de impraticabilidade, que associam a intensidade das chuvas a períodos de paralisação e retomada das atividades, surge como alternativa viável para a construção de cenários realistas e robustos.

Este trabalho tem como proposta avaliar os impactos da aplicação de uma metodologia de cálculo de impraticabilidade climática sobre o planejamento e orçamentação de uma obra hipotética de terraplenagem. Serão construídos dois cenários: um que desconsidera os efeitos das chuvas e outro que os integra com base em dados históricos e parâmetros técnicos. A comparação entre esses cenários permitirá avaliar as consequências práticas da omissão desse fator na estimativa de custos e prazos.

Além disso, o estudo visa contribuir para a consolidação de práticas mais realistas de planejamento, promovendo a disseminação de ferramentas acessíveis, como planilhas automatizadas em Excel, que possibilitem a análise integrada de dados pluviométricos, produtividade e custos. Dessa forma, busca-se tanto uma contribuição

prática para o setor da construção civil quanto um avanço metodológico e teórico no tratamento de variáveis ambientais em projetos de engenharia.

1.1 PERGUNTA DE PESQUISA

Como a aplicação de uma metodologia de cálculo de impraticabilidade climática, baseada em dados pluviométricos históricos e fatores de retomada, pode influenciar o planejamento e a orçamentação de uma obra de terraplenagem em relação à duração e ao custo total?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o impacto da aplicação de uma metodologia de cálculo de impraticabilidade climática (chuvas) no planejamento e na orçamentação de obras de terraplenagem, comparando custos totais, duração do cronograma e eficiência econômica entre cenários com e sem inclusão dessa variável.

1.2.2 Objetivos específicos

- Comparar cronogramas e orçamentos de uma obra hipotética de terraplenagem em dois cenários:
 - Cenário 1: planejamento sem considerar a impraticabilidade devido às chuvas;
 - Cenário 2: planejamento com aplicação de metodologia de cálculo de dias parados por chuvas.
- Avaliar a metodologia de cálculo de impraticabilidade climática com base em fatores de retomada distintos conforme a intensidade das chuvas.
- Quantificar os custos diretos e indiretos gerados pela extensão do prazo devido às chuvas, incluindo mão de obra ociosa, equipamentos parados e prolongamento da administração da obra.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A relevância deste estudo reside no fato de que a maioria dos planejamentos de obras de terraplenagem no Brasil ainda desconsidera, de forma sistemática, a

influência direta das chuvas sobre a produtividade e a duração das atividades. Essa omissão compromete a exequibilidade do cronograma e do orçamento, podendo gerar atrasos, prejuízos e conflitos contratuais. A presente pesquisa busca preencher essa lacuna, apresentando uma abordagem metodológica baseada em dados reais e ferramentas acessíveis ao cotidiano dos engenheiros e orçamentistas.

Do ponto de vista prático, o estudo oferece uma ferramenta para melhoria na previsibilidade e na alocação de recursos, beneficiando empresas que buscam competitividade e sustentabilidade financeira. No campo teórico, contribui com a ampliação do debate sobre a integração entre variáveis ambientais e planejamento de obras. Em termos metodológicos, o trabalho propõe uma adaptação de recursos simples, como planilhas em Excel, para auxiliar o processo decisório de forma objetiva e sistematizada.

1.4 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este trabalho apresenta as seguintes restrições e limitações:

- O estudo será baseado em um caso hipotético, com dados de produtividade e composições obtidas de bancos de dados padronizados (SINAPI, TCPO) e adaptados por meio de referências técnicas confiáveis.
- A metodologia aplicada considerará exclusivamente a variável “chuvas” como fator de impraticabilidade climática, desconsiderando outras causas de improdutividade como treinamentos, logística interna ou paradas técnicas.
- Os impactos financeiros serão estimados com base em custos unitários médios e não envolverão análise contratual específica ou variações de mercado local.
- Os fatores de retomada utilizados no cálculo de dias impraticáveis foram extraídos de práticas de mercado e literatura técnica, podendo variar de acordo com a realidade de cada empresa ou obra.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, conforme descrito a seguir:

- Capítulo 1 – Introdução: Apresenta a contextualização do tema, a pergunta de pesquisa, os objetivos, a justificativa, as limitações do estudo e a estrutura geral do trabalho.

- Capítulo 2 – Referencial Teórico: Aborda os principais conceitos relacionados à terraplenagem, planejamento de obras, impacto climático na construção civil e metodologia de análise de impraticabilidade.
- Capítulo 3 – Materiais e Métodos: Detalha os procedimentos adotados para desenvolvimento do estudo, incluindo os critérios de coleta e análise dos dados, a modelagem dos cenários e a metodologia aplicada.
- Capítulo 4 – Análise e Discussão dos Resultados: Apresenta os cronogramas, histogramas e comparações entre os cenários, além da análise dos impactos observados nos prazos e nos custos.
- Capítulo 5 – Conclusão: Expõe os resultados finais, as considerações qualitativas da análise e sugestões para futuras pesquisas.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 OBRAS DE TERRAPLENAGEM

2.1.1 Conceitos e finalidades

A terraplenagem é uma das primeiras e mais fundamentais etapas de uma obra de engenharia civil. Consiste no conjunto de operações destinadas a modelar o terreno natural, promovendo sua adequação ao projeto executivo por meio da movimentação de massas de terra. Conforme Ricardo e Catalani (2007), trata-se da “remoção de solos e rochas de locais onde há excedente e seu transporte para regiões onde há necessidade de preenchimento, com o objetivo de atingir cotas e perfis estabelecidos em projeto”.

A finalidade principal da terraplenagem é garantir que o terreno apresente as condições geométricas e geotécnicas necessárias para o início das etapas subsequentes da construção, como fundações, pavimentações, edificações ou obras de infraestrutura em geral. Para isso, as operações envolvem escavação, carga, transporte, descarga, espalhamento, conformação e compactação do solo. A depender das características da obra, essas atividades podem ser realizadas de forma mecanizada, utilizando equipamentos pesados, ou, em casos específicos, de maneira manual.

Além de preparar o terreno para receber estruturas, a terraplenagem tem o objetivo de garantir a estabilidade do maciço, controlar a erosão, assegurar a drenagem superficial adequada e otimizar a movimentação de equipamentos e veículos no canteiro de obras. Em projetos de grande porte, como rodovias, barragens, plataformas industriais ou pátios de mineração, essa etapa pode representar uma fração significativa dos custos e prazos totais da obra, o que reforça sua relevância estratégica dentro do planejamento executivo (Askew et al., 2002; Duarte, 2013).

O adequado dimensionamento da terraplenagem, aliado ao conhecimento das características do solo e das condições climáticas do local, permite a redução de custos, aumento da produtividade e mitigação de riscos operacionais. Dessa forma, esta etapa assume um papel central na viabilidade técnica e econômica dos empreendimentos de engenharia civil.

2.1.2 Etapas e equipamentos utilizados

A execução de uma obra de terraplenagem segue uma sequência lógica de etapas que devem ser rigorosamente planejadas, uma vez que representam parte significativa do custo e do prazo global do empreendimento (DUARTE, 2013). Essas etapas compreendem, geralmente, as operações de escavação, carga, transporte, descarga, espalhamento, conformação e compactação do solo.

2.1.2.1 Escavação

A escavação é a etapa de desagregação do solo em seu estado natural, sendo o ponto inicial da movimentação de terras. Ricardo e Catalani (2007) definem escavação como o rompimento da estrutura original do solo por meio de forças mecânicas, viabilizando seu transporte e posterior utilização. Essa etapa pode ser realizada com equipamentos como escavadeiras hidráulicas, retroescavadeiras, tratores de esteira com lâmina (dozer) ou até mesmo de forma manual, dependendo da escala da obra.

2.1.2.2 Carga e transporte

Após a escavação, o solo é carregado em veículos apropriados, geralmente caminhões basculantes ou articulados. Conforme Duarte (2013), essa etapa deve ser sincronizada com os ciclos de escavação para evitar tempos ociosos e garantir a eficiência do processo. A distância de transporte é um fator determinante no custo final da operação, sendo que grandes distâncias exigem planejamento logístico detalhado.

2.1.2.3 Descarga e espalhamento

Ao chegar na área de bota-fora ou aterro, o material é descarregado e espalhado com o auxílio de tratores ou motoniveladoras. Segundo Ricardo e Catalani (2007), o espalhamento visa distribuir o solo em camadas uniformes, preparando-o para a compactação. A conformação geométrica do terreno já começa a ser observada nesse momento, com o nivelamento preliminar.

2.1.2.4 Compactação

A compactação é uma das fases mais críticas do processo de terraplenagem. Consiste na redução dos vazios do solo para aumentar sua densidade e resistência,

essencial para garantir a estabilidade do aterro e sua durabilidade ao longo do tempo (INSFRÁN & ANTONIO, 2001). A operação é realizada por rolos compactadores (pé de carneiro, liso, pneumático ou vibratório), cuja escolha depende do tipo de solo e do grau de compactação requerido em projeto (geralmente 95% do Proctor Normal).

2.1.2.5 Conformação final

A conformação final tem como objetivo adequar o terreno às exigências geométricas estabelecidas em projeto, incluindo cotas, taludes e escoamento superficial. Ricardo e Catalani (2007) ressaltam que essa etapa deve ser acompanhada de topografia de controle para verificação da geometria e da regularidade do terreno. A conformação também contribui para a eficiência do sistema de drenagem, evitando problemas como erosões e acúmulo de água.

2.1.3 Características técnicas e produtividades típicas

As obras de terraplenagem envolvem uma ampla gama de atividades técnicas que requerem análise criteriosa de variáveis geotécnicas, operacionais e climáticas. O conhecimento das características dos solos, a seleção adequada dos equipamentos e a definição de produtividades são fundamentais para garantir o desempenho físico-financeiro da obra, evitando retrabalhos, atrasos e sobrecustos.

2.1.3.1 Características técnicas relevantes

Segundo Ricardo e Catalani (2007), os principais fatores técnicos que influenciam as operações de terraplenagem são:

- Tipo de solo: A resistência ao corte, coesão, plasticidade e umidade natural afetam diretamente a escavabilidade e a necessidade de equipamentos específicos.
- Topografia do terreno: Declividades acentuadas, presença de obstáculos naturais e acessos restritos exigem ajustes operacionais e cuidados no planejamento logístico.
- Nível freático e drenagem: Solos saturados ou com lençol freático próximo à superfície reduzem a estabilidade e dificultam a compactação, sendo necessário tratamento ou drenagem prévia.

- Distâncias de transporte: A distância entre os pontos de escavação e aterro (ou bota-fora) influencia diretamente o ciclo dos equipamentos de transporte e, por consequência, a produtividade global da frente de trabalho.

Além disso, os parâmetros de execução, como espessura das camadas, número de passadas do rolo compactador e controle da umidade segundo a curva Proctor, devem ser rigorosamente acompanhados, conforme apontado por Insfrán e Antonio (2001).

2.1.3.2 Produtividades típicas por equipamento

A produtividade de um equipamento depende de fatores como tipo de solo, condições climáticas, habilidade do operador, manutenção e organização da frente de trabalho. A Tabela 1 apresenta produtividades médias usuais, baseadas em valores extraídos de composições de custo e literatura técnica (DUARTE, 2013; RICARDO & CATALANI, 2007):

Tabela 1 – Produtividade dos Equipamentos

EQUIPAMENTO	ATIVIDADE EXECUTADA	PRODUTIVIDADE MÉDIA
Escavadeira hidráulica 20 toneladas	Escavação e carga em solo argiloso	60 a 80 m ³ /h
Pá-carregadeira	Carga de solo em caminhões	40 a 70 m ³ /h
Trator de esteiras D6	Espalhamento e conformação de solo	150 a 260 m ² /h
Motoniveladora	Nivelamento de camada de solo	5.000 a 8.000 m ² /dia
Rolo pé de carneiro	Compactação de solos coesivos	300 a 500 m ³ /h
Caminhão basculante 12m ³	Transporte de solo (ciclo de 15 a 20 min)	3 a 4 viagens/h (36 a 48 m ³ /h)

Fonte: Adaptado de Ricardo & Catalani (2007); Duarte (2013); composições SINAPI

2.1.3.3 Considerações operacionais

Segundo Zynger (2000), a produtividade real raramente atinge os valores nominais de catálogo dos fabricantes. Ela é impactada por perdas operacionais como:

- Tempo de deslocamento sem carga;
- Manobras e esperas;
- Manutenção corretiva ou preventiva;
- Interferências climáticas (chuvas, neblina, ventos fortes);
- Sobreposição de frentes ou conflitos logísticos.

Dessa forma, para obter maior precisão no planejamento e na orçamentação de obras, recomenda-se o uso de coeficientes de eficiência, ajustando as produtividades teóricas aos valores observados em campo (DUARTE, 2013). Esse ajuste é ainda mais necessário quando se aplicam metodologias de cálculo de dias improdutivos, como será analisado nos próximos capítulos deste trabalho.

2.1.4 Empolamento do solo em escavação

Nas obras de terraplenagem, a quantificação dos volumes de solo constitui uma etapa fundamental para o adequado planejamento das atividades de escavação, carga, transporte, espalhamento e compactação. Entretanto, o volume medido no terreno natural não corresponde, necessariamente, ao volume movimentado após a escavação. Isso ocorre devido ao fenômeno conhecido como empolamento do solo, caracterizado pelo aumento volumétrico do material quando este é removido de sua condição natural e passa ao estado solto.

Segundo Ricardo e Catalani (2007), os serviços de terraplenagem envolvem a remoção de material de regiões onde há excesso e seu transporte para áreas onde há necessidade de preenchimento, de modo a conformar o terreno às cotas estabelecidas em projeto. Nesse processo, o solo inicialmente encontra-se em seu estado natural, também denominado volume “in situ” ou volume no corte. Ao ser escavado, ocorre a ruptura de sua estrutura original, com desagregação das partículas e aumento dos vazios entre os grãos, fazendo com que o material passe a ocupar um volume superior ao original.

Esse aumento de volume é denominado empolamento ou expansão volumétrica. Para Peurifoy, Schexnayder e Shapira (2011), os materiais escavados podem apresentar variações relevantes entre os estados natural, solto e compactado, sendo necessário considerar essas alterações no cálculo de produtividade, capacidade de transporte e estimativa de custos. Assim, o empolamento representa a diferença entre o volume do solo em seu estado natural e o volume ocupado após a escavação, quando o material se encontra desagregado e pronto para ser carregado ou transportado.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2010), por meio do Manual de Implantação Básica de Rodovia, destaca a importância dos parâmetros

de conversão volumétrica em obras de terraplenagem, uma vez que os materiais movimentados apresentam comportamentos distintos conforme sua natureza, umidade, granulometria, grau de compactação natural e método de execução. Dessa forma, os fatores de empolamento devem ser definidos, preferencialmente, com base em estudos geotécnicos específicos. Na ausência desses ensaios, admite-se a adoção de valores referenciais compatíveis com a natureza do solo e com as condições executivas consideradas no projeto.

A relação entre o volume natural e o volume solto pode ser representada pela Equação:

$$V_s = V_n \times FE$$

V_s = volume solto do material após a escavação

V_n = volume natural do material, medido no corte ou no terreno original;

FE = fator de empolamento.

De acordo com a Caterpillar (2024), o empolamento corresponde ao percentual de aumento do volume original quando o material é removido de sua condição natural e passa ao estado solto. A referência técnica exemplifica que, para um empolamento de 30%, o material passa a ocupar 1,3 vez o volume original após a escavação. Dessa forma, um fator de empolamento igual a 1,30 indica que, para cada 1,00 m³ de solo medido no corte, obtém-se 1,30 m³ de material solto a ser carregado e transportado.

A adoção desse fator é especialmente relevante em obras de terraplenagem, pois o volume geométrico de escavação costuma ser medido em metros cúbicos naturais, enquanto os equipamentos de transporte operam com base no volume solto carregado em suas caçambas. Assim, a descon sideração do empolamento pode provocar subestimação da quantidade de viagens, do tempo de ciclo dos caminhões, do consumo de combustível, da utilização dos equipamentos e, consequentemente, dos custos diretos da obra.

No presente trabalho, adotou-se o fator de empolamento igual a 1,30, correspondente a um acréscimo volumétrico de 30% em relação ao volume natural escavado. Essa escolha justifica-se pela ausência de ensaios geotécnicos específicos para a obra hipotética analisada e pela necessidade de utilizar uma premissa conservadora e tecnicamente defensável para estimar o volume solto a ser

transportado. A adoção do fator 1,30 é compatível com a referência apresentada pela Caterpillar (2024), na qual o empolamento de 30% é diretamente associado ao aumento do volume escavado para 1,3 vez o volume original, e também se alinha à abordagem do DNIT (2010), que reconhece a necessidade de considerar fatores de conversão volumétrica em estudos de terraplenagem.

No contexto desta pesquisa, o fator de empolamento assume papel relevante porque a análise econômico-financeira depende da correta estimativa do volume efetivamente movimentado. Assim como a variável climática influencia a disponibilidade de horas produtivas, o empolamento influencia a quantidade de serviço a ser executada, sobretudo na atividade de transporte. Dessa forma, a consideração do fator 1,30 contribui para tornar a modelagem mais conservadora, realista e compatível com práticas técnicas de terraplenagem.

2.2 PLANEJAMENTO DE OBRAS

2.2.1 Conceitos e importância do planejamento

O planejamento é uma das funções essenciais da gestão de projetos na construção civil, responsável por estabelecer o rumo estratégico e operacional de uma obra. De acordo com Oliveira (2007), o planejamento não se refere apenas à antecipação de ações, mas às implicações futuras das decisões tomadas no presente. É um processo contínuo que visa orientar, coordenar e controlar recursos, prazos e atividades com o intuito de atingir os objetivos do empreendimento com eficiência.

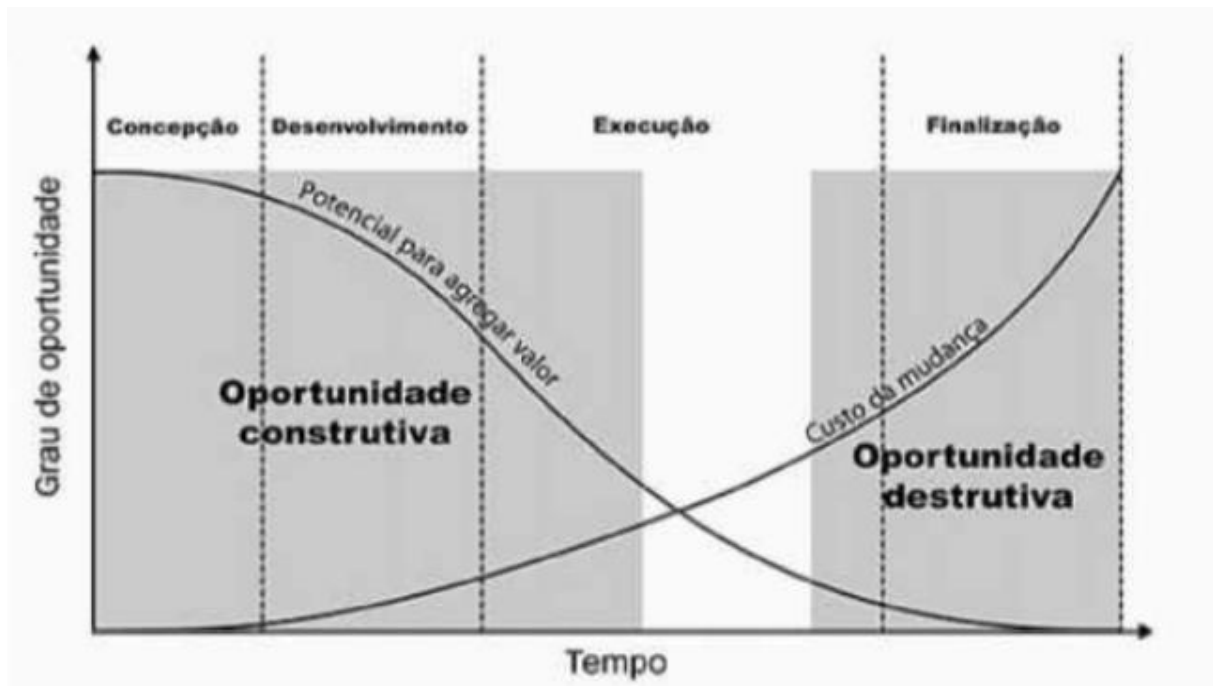
Para Maximiano (1995), o planejamento oferece três benefícios centrais:

- Permanência das decisões, ao permitir a formalização antecipada das diretrizes;
- Equilíbrio operacional, ao reduzir irregularidades e emergências durante a execução;
- Melhor desempenho global, ao possibilitar a previsão e mitigação de riscos.

Em obras civis, o planejamento deve considerar todas as fases do ciclo de vida do projeto: estudos preliminares, anteprojeto, projeto executivo, mobilização, execução e encerramento. Segundo Silva (2011), um bom planejamento deve integrar informações técnicas, econômicas, legais e ambientais, além de contemplar cenários de incerteza — especialmente aqueles ligados a fatores climáticos, como chuvas excessivas, que podem comprometer atividades ao ar livre, como a terraplenagem.

Mattos (2010) argumenta que os maiores ganhos de prazo e custo em um empreendimento se concentram justamente nas fases iniciais de planejamento, quando o grau de liberdade para mudanças ainda é elevado. Conforme mostra a Figura 1, alterações realizadas após o início da execução têm custo elevado e impacto reduzido, enquanto mudanças no planejamento podem ser decisivas para o sucesso do projeto.

Figura 1 – Grau de Oportunidade de Mudança x Tempo



Fonte: (MATTOS, 2010)

Além disso, conforme Zynger (2000), a ausência de planejamento detalhado pode levar à subestimação de custos, improdutividades ocultas e cronogramas inexecutáveis. A integração do planejamento com dados históricos, como séries pluviométricas, permite o desenvolvimento de cronogramas mais realistas, refletindo não apenas a duração técnica das atividades, mas também os riscos operacionais decorrentes de variáveis ambientais.

Portanto, o planejamento eficaz não é apenas uma exigência técnica ou contratual, mas uma ferramenta estratégica que permite transformar informações em ações estruturadas, garantindo que os objetivos da obra sejam atingidos com previsibilidade e controle.

2.2.2 Tipos de planejamento (estratégico, tático e operacional)

O planejamento em engenharia civil pode ser estruturado em diferentes níveis hierárquicos, de acordo com o grau de detalhamento e o horizonte temporal das decisões. Conforme a classificação proposta por Oliveira (2007), os tipos de planejamento são agrupados em três categorias principais: estratégico, tático e operacional. Essa divisão facilita a organização dos processos, a definição de responsabilidades e a integração entre áreas técnicas, administrativas e executivas.

2.2.2.1 Planejamento estratégico

O planejamento estratégico é o nível mais alto da hierarquia e está voltado para decisões de longo prazo e impacto global no empreendimento. Segundo Silva (2011), ele é normalmente conduzido pela alta gestão da empresa ou pelo corpo diretivo da obra, com foco em metas amplas, como prazo final de entrega, orçamento total, definição de layout do canteiro, mobilização de recursos e estratégias de suprimentos.

Ferramentas como o Gráfico de Gantt, CPM (Critical Path Method) e PDM (Precedence Diagramming Method) são amplamente utilizadas nesta fase para garantir a visualização e o sequenciamento lógico das atividades (SILVA, 2011). Embora esse nível não trate do detalhamento das frentes de serviço, ele fornece os parâmetros fundamentais que guiarão os planos tático e operacional.

2.2.2.2 Planejamento tático

O planejamento tático traduz os objetivos estratégicos em ações de médio prazo, geralmente com horizonte mensal ou bimestral. De acordo com Bernardes (apud SILVA, 2011), é nesse nível que se definem os pacotes de trabalho e as frentes de serviço, com detalhamento suficiente para orientar as equipes de campo. As decisões são tomadas por engenheiros de planejamento e gerentes de obra, visando alinhar prazos, recursos e restrições técnicas.

Essa etapa é essencial para a avaliação de riscos operacionais, identificação de gargalos e elaboração de planos de contingência. Além disso, permite a atualização periódica do planejamento estratégico com base nas informações reais do andamento da obra (COELHO, 2003).

2.2.2.3 Planejamento operacional

É o nível mais detalhado do planejamento e abrange o curto prazo, geralmente semanal ou diário. Segundo Bernardes (apud SILVA, 2011), sua função é distribuir as tarefas diretamente às equipes de produção, considerando os recursos disponíveis, as restrições temporárias (ex.: clima, logística) e as prioridades estabelecidas.

Nesse nível são definidos os cronogramas de execução diária, os turnos de trabalho, o abastecimento de materiais e a programação de equipamentos. O objetivo principal é proteger a produção contra incertezas, garantindo o uso eficiente dos recursos e a continuidade das frentes de serviço.

Esses três níveis de planejamento não devem ser vistos de forma isolada. Pelo contrário, o sucesso de uma obra depende da integração contínua entre eles, garantindo que as decisões estratégicas sejam traduzidas em ações operacionais coerentes e adaptadas à realidade do canteiro. Conforme Oliveira (2007), o planejamento deve ser encarado como um sistema dinâmico, em constante retroalimentação, que permite corrigir rumos, reavaliar metas e manter o controle do projeto mesmo diante de incertezas, como as provocadas por variáveis climáticas.

2.2.3 Metodologias e ferramentas de apoio ao planejamento

O planejamento eficiente em obras de engenharia civil requer o uso de metodologias estruturadas e ferramentas tecnológicas que permitam representar graficamente, simular cenários, calcular prazos e alocar recursos. A escolha e aplicação correta desses instrumentos facilitam o controle do cronograma e possibilitam a tomada de decisão com base em dados objetivos.

2.2.3.1 Gráfico de Gantt

O Gráfico de Gantt é uma das ferramentas mais tradicionais na construção civil. Desenvolvido por Henry Gantt em 1917, permite representar a duração e a sequência das atividades em uma linha do tempo. Segundo Silva (2011), essa ferramenta é extremamente útil para visualizar o encadeamento de tarefas e identificar sobreposições e dependências entre frentes de trabalho.

Apesar de sua simplicidade, o Gráfico de Gantt pode ser adaptado a diferentes níveis de planejamento, desde o estratégico até o operacional, principalmente com o apoio de softwares como MS Project e Primavera P6.

2.2.3.2 Método do caminho crítico (CPM)

O “*Critical Path Method*” (CPM) é uma técnica de planejamento baseada na identificação da cadeia de atividades que determina a menor duração possível da obra. Qualquer atraso nas atividades do caminho crítico afeta diretamente a data de término do projeto. Para Maximiano (1995), essa metodologia é fundamental para priorizar decisões de alocação de recursos e esforços de recuperação de prazo.

O CPM é especialmente importante em obras com várias frentes simultâneas, onde a interdependência entre tarefas pode gerar gargalos e atrasos sistêmicos.

2.2.3.3 Método de diagrama de precedência (PDM)

O “*Precedence Diagramming Method*” (PDM) é uma evolução do CPM, que utiliza nós (caixas) e setas para indicar relações de precedência entre atividades. Essa técnica permite representar quatro tipos de vínculos lógicos: início-início (SS), término-início (FS), início-término (SF) e término-término (FF), oferecendo maior flexibilidade na modelagem de cronogramas (OLIVEIRA, 2007).

2.2.3.4 Linha de balanço (“*line of balance*” – LOB)

Método muito utilizado em obras repetitivas, como edifícios com múltiplos pavimentos ou trechos de rodovias, a Linha de Balanço representa a execução simultânea de diversas frentes ao longo do tempo. Segundo Askew et al. (2002), essa abordagem permite otimizar o fluxo de produção, evitar interferências entre equipes e minimizar tempos de espera.

Embora seja pouco utilizada em obras de terraplenagem convencionais, o método pode ser aplicado em movimentações de terra em trechos lineares (ex.: duplicação de rodovias), quando há necessidade de equilíbrio entre cortes e aterros ao longo do trecho.

2.2.3.5 Softwares de Planejamento

Com a evolução tecnológica, diversas ferramentas digitais foram incorporadas ao planejamento de obras, com destaque para:

- Microsoft Project – permite criação de cronogramas, acompanhamento do progresso físico e financeiro, além da alocação de recursos e definição de calendários específicos por atividade;
- Primavera P6 – amplamente utilizado em grandes empreendimentos de engenharia, possui recursos avançados de integração entre cronograma e orçamento;
- Excel – ferramenta versátil para cálculos auxiliares, modelagem de cenários, orçamentos e integração de dados pluviométricos ou índices de produtividade;
- AutoCAD/Civil 3D – utilizado para levantamento topográfico e modelagem do terreno, especialmente útil para obras de terraplenagem;
- BIM (Building Information Modeling) – em ascensão, o BIM permite simulações 4D (cronograma), 5D (custos) e até 6D (manutenção), promovendo a integração entre projeto, orçamento e execução.

O uso combinado dessas metodologias e ferramentas contribui significativamente para a previsibilidade e controle da obra, especialmente quando o planejamento precisa absorver incertezas externas, como a variabilidade climática. Como destaca Mattos (2010), obras planejadas com base em dados históricos, simulações e vínculos realistas tendem a ser mais eficientes, econômicas e confiáveis ao longo de sua execução.

2.2.4 Riscos e incertezas no planejamento de obras

O planejamento de obras na engenharia civil é inerentemente exposto a riscos e incertezas, decorrentes tanto de fatores internos (como falhas de projeto ou erros de estimativa) quanto de variáveis externas, como clima, mercado e legislações. A previsibilidade e o controle desses fatores são fundamentais para a eficiência do empreendimento, sobretudo em atividades sensíveis à imprevisibilidade, como as obras de terraplenagem.

Segundo Zynger (2000), a ausência de planejamento específico para lidar com interferências pode levar à subestimação de prazos e custos, resultando em cronogramas inexecutáveis, desperdício de recursos e até rescisão contratual.

2.2.4.1 Interferências climáticas

As condições meteorológicas são uma das variáveis externas mais críticas para a construção civil. Chuvas intensas, por exemplo, podem inviabilizar serviços de escavação e compactação, como ocorre com frequência em obras de terraplenagem (ISFRÁN & ANTONIO, 2001).

Para Pan (2005), há uma correlação direta entre volume pluviométrico e perda de produtividade, sendo necessário adotar margens de segurança e metodologias de cálculo de impraticabilidade climática para minimizar os impactos. Estudos, como o de Girardi (2018), propõem o uso de fatores de retomada para quantificar o tempo de paralisação e recuperação das atividades após eventos de chuva.

2.2.4.2 Variabilidade de solo e geotecnia

Mesmo com sondagens prévias, é comum que o solo apresente variações inesperadas ao longo da execução, como surgimento de lençol freático raso, presença de material orgânico ou camadas colapsíveis. Segundo Ricardo e Catalani (2007), essas ocorrências exigem soluções de engenharia emergenciais, com impacto em prazo, custo e segurança da obra.

2.2.4.3 Falhas de projeto e revisões técnicas

Alterações tardias em projetos executivos, omissões de detalhes técnicos ou incompatibilidades entre disciplinas (projeto estrutural x drenagem, por exemplo) afetam diretamente a programação da obra. Conforme Oliveira (2007), a ausência de revisão integrada no início da obra pode gerar retrabalhos significativos.

2.2.4.4 Logística, suprimentos e recursos

Atrasos na entrega de insumos, indisponibilidade de mão de obra especializada ou falhas no abastecimento de combustíveis e peças de reposição para equipamentos podem comprometer o andamento da obra. Silva (2011) ressalta que a antecipação desses riscos exige uma logística detalhada e flexível, com fornecedores previamente qualificados e estoques reguladores.

2.2.4.5 Riscos contratuais e institucionais

Licenças ambientais, embargos, exigências adicionais por órgãos públicos ou comunidades locais representam riscos institucionais relevantes, principalmente em grandes empreendimentos. A avaliação preliminar desses aspectos deve compor o planejamento estratégico da obra (MATTOS, 2010).

Dada a complexidade desses fatores, a abordagem moderna do planejamento deve incorporar técnicas de gestão de riscos, que incluem:

- Identificação de riscos;
- Avaliação de probabilidade e impacto;
- Definição de medidas mitigadoras;
- Monitoramento contínuo ao longo do ciclo da obra.

A integração desses procedimentos ao cronograma permite a criação de cenários alternativos e a formulação de planos de contingência que garantem maior resiliência ao planejamento, essencial para obras executadas sob condições variáveis, como as que envolvem grandes volumes de movimentação de solo.

2.3 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E CONSTRUÇÃO CIVIL: PLUVIOMETRIA E CLASSIFICAÇÃO DAS CHUVAS

A precipitação pluviométrica é, na maioria dos casos, a principal variável climática de impacto direto sobre as obras de engenharia civil. Sua ocorrência interfere nas atividades de campo, reduz a produtividade, impossibilita a execução de determinadas etapas e, em muitos casos, gera atrasos significativos nos cronogramas. Em obras de terraplenagem, o impacto é ainda mais sensível, uma vez que tanto os solos em movimentação quanto os equipamentos operam diretamente sobre superfícies expostas e com grande dependência das condições meteorológicas.

No Brasil, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) classifica as chuvas com base na intensidade horária. No entanto, para o planejamento de obras e a definição de fatores de retomada, a abordagem mais prática envolve o uso de precipitação diária acumulada (mm/dia) — pois é essa variável que afeta a execução e liberação de frentes de serviço em cronogramas reais.

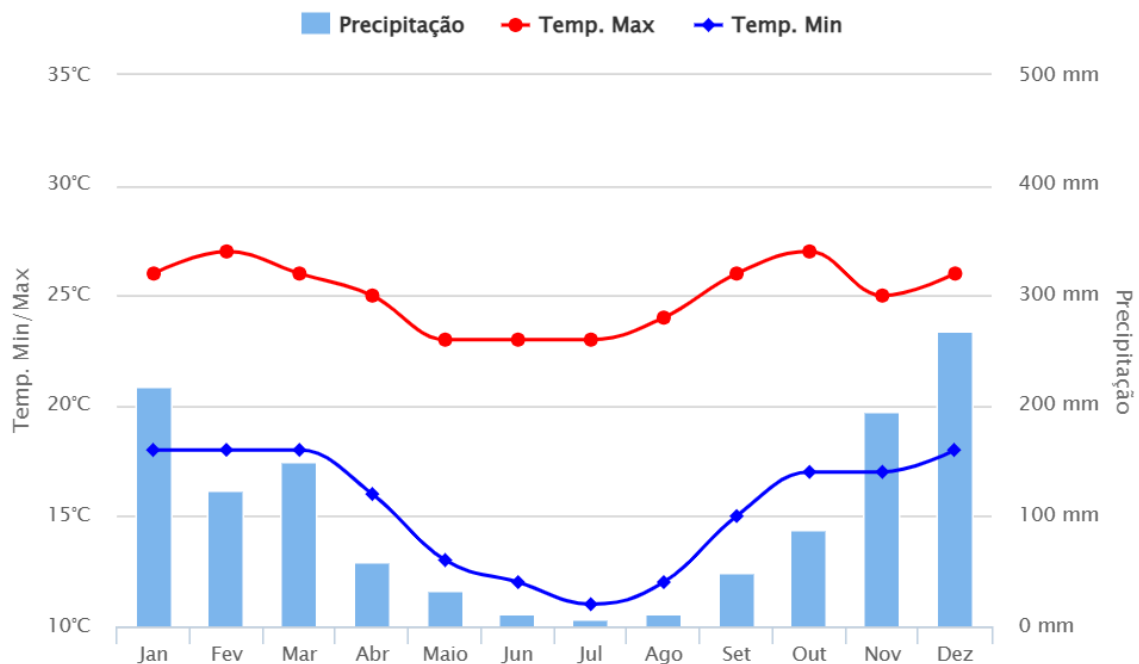
No contexto deste trabalho, as chuvas foram categorizadas em faixas diretamente relacionadas à quantidade de milímetros por dia e ao seu impacto estimado em dias de paralisação para dois tipos principais de atividade: aterro e corte. Essa

classificação, embora baseada em parâmetros técnicos, é ajustada à realidade operacional da execução em campo e será utilizada para embasar os cálculos de impraticabilidade apresentados nos capítulos seguintes.

Segundo Zynger (2000) e Pan (2005), obras de movimentação de solo são altamente suscetíveis a períodos de precipitação acumulada, especialmente quando se exige controle rigoroso da umidade para compactação (aterros) ou estabilidade de taludes (cortes). As chuvas não apenas impedem o trabalho no dia em que ocorrem, mas também exigem um tempo adicional de retomada — intervalo necessário para que o solo volte a apresentar condições adequadas de trabalho. Este é o fundamento dos fatores adotados neste estudo.

Adicionalmente, Girardi (2018) destaca que o impacto pluviométrico é função tanto da intensidade quanto da frequência e regularidade da chuva. Assim, mesmo chuvas leves sucessivas podem gerar atrasos cumulativos significativos, se não forem devidamente consideradas no planejamento. Abaixo, segue um exemplo de um gráfico de precipitação e temperatura em Belo Horizonte. Pode-se observar a grande diferença de volume precipitado nos meses secos e chuvosos.

Figura 2 – Precipitação e temperatura em Belo Horizonte, Minas Gerais



Fonte: CLIMATEMPO, 2025.

Nos capítulos seguintes, será detalhada a metodologia de cálculo da impraticabilidade climática, incluindo a integração entre os dados históricos pluviométricos da região de estudo e os fatores de paralisação adotados. Essa metodologia será aplicada à construção de dois cenários distintos de planejamento e orçamento de obra: um sem considerar os impactos das chuvas e outro com ajustes baseados na metodologia aqui apresentada.

3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho caracteriza-se como quantitativo-descritiva, fundamentando-se na análise comparativa de prazos e custos em dois cenários distintos de execução de uma obra hipotética de terraplenagem: um que desconsidera os efeitos das chuvas no planejamento e orçamentação (cenário 1), e outro que integra uma metodologia de cálculo de impraticabilidade climática baseada em dados pluviométricos históricos e critérios técnicos de paralisação (cenário 2).

O estudo é estruturado a partir da simulação de um caso hipotético, permitindo o controle de variáveis e a aplicação sistemática dos procedimentos propostos. A abordagem quantitativa é viabilizada por meio da mensuração de variáveis como volume de solo movimentado, distância média de transporte, produtividade de equipamentos, número de dias úteis disponíveis, entre outras. A análise comparativa se dará por meio da avaliação dos impactos da variável climática (chuva) sobre o prazo total do cronograma e os custos indiretos associados à extensão do tempo de obra, como administração do canteiro, mão de obra ociosa e depreciação de equipamentos.

O desenvolvimento da metodologia compreende, em linhas gerais:

A seleção e detalhamento das composições unitárias de custo aplicáveis à escavação, transporte e compactação de solo, com base em composições do SINAPI;

- A definição de premissas técnicas e operacionais, como densidade do solo, fator de empolamento e distância de transporte;
- A coleta e organização de dados pluviométricos históricos referentes à cidade de Belo Horizonte (MG), abrangendo os últimos 10 anos;
- A aplicação de critérios de paralisação por chuva, traduzidos em fatores de retomada (em dias) conforme o volume diário precipitado;
- A construção de dois cronogramas distintos, com e sem ajuste por dias improdutivos;
- A quantificação dos impactos nos custos indiretos a partir da projeção do aumento de prazo e seus reflexos sobre despesas fixas da obra.

A modelagem e os cálculos foram realizados em ambiente de planilha eletrônica (Excel), permitindo a integração entre produtividade, custos e dados climáticos. O

objetivo final é evidenciar, de forma prática, o impacto de variáveis ambientais negligenciadas em muitos orçamentos, propondo uma metodologia acessível para sua incorporação em projetos reais.

3.2 FONTES E DADOS

Para viabilizar a modelagem dos cenários e a análise proposta neste estudo, foram utilizadas diversas fontes de dados secundários, com destaque para bases públicas e padronizadas que garantem confiabilidade, rastreabilidade e replicabilidade dos resultados. As principais fontes utilizadas são descritas a seguir:

- **Dados Pluviométricos Históricos:** Foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), por meio da plataforma BDMEP, os registros diários de precipitação da cidade de Belo Horizonte (MG), abrangendo o período de 2015 a 2024. Os dados foram organizados por mês e ano, permitindo a análise sazonal e a aplicação de critérios de impraticabilidade climática com base na frequência e intensidade das chuvas ao longo do período.
- **Composições Unitárias de Custos:** As composições de escavação com carga mecânica, transporte interno com caminhão basculante e compactação de solo foram extraídas do sistema SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), com base nos códigos 100980, 100944 e 104742, respectivamente. Os valores considerados foram aqueles publicados nas versões AF_07/2020 e AF_08/2023, conforme disponibilizado na plataforma Orçamentor.
- **Insumos de Mão de Obra Complementar:** Para cada composição principal, foi incluído o custo do servente com encargos complementares (código 88316), também conforme referência do SINAPI, representando o apoio necessário às frentes de serviço.
- **Premissas Técnicas e Operacionais:** Algumas premissas utilizadas na modelagem foram adotadas com base em referências técnicas da literatura e práticas correntes de mercado, tais como:
 - Volume escavado: 50.000 m³
 - Empolamento: fator de 1,3 (resultando em 65.000 m³ transportados)
 - Densidade do solo: 1,8 t/m³
 - Distância média de transporte (DMT): 1 km

- Ferramentas Utilizadas: A construção dos cronogramas, o cálculo dos dias improdutivos e a quantificação dos custos foram realizados em planilhas eletrônicas do Excel, com fórmulas automatizadas que integram dados de produtividade, coeficientes técnicos e volume de chuvas.

O conjunto dessas fontes permitiu a estruturação de uma análise robusta e compatível com a realidade de obras de terraplenagem, especialmente em contextos onde o risco climático pode impactar significativamente os resultados operacionais e financeiros da obra.

3.3 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMPRATICABILIDADE

No contexto das obras de terraplenagem, diversas condições podem comprometer a produtividade diária das frentes de serviço. Entre os fatores recorrentes de impraticabilidade operacional estão: diálogos de segurança (DDS), pausas obrigatórias, deslocamentos internos até as frentes de trabalho, horários de alimentação, além de eventos climáticos como chuvas. No entanto, para fins de padronização e foco metodológico, este estudo considera exclusivamente a impraticabilidade climática provocada pela chuva, como variável de análise.

A escolha por isolar a variável “chuva” justifica-se por seu caráter externo, imprevisível e frequentemente negligenciado nos planejamentos e orçamentos tradicionais. As demais fontes de improdutividades mencionadas, apesar de relevantes, são rotineiramente absorvidas nos coeficientes de produtividade ou consideradas no dimensionamento da jornada de trabalho, não sendo o foco da investigação aqui proposta.

Para transformar os dados de precipitação em impactos operacionais quantificáveis, adotou-se uma metodologia baseada em fatores de retomada. Esses fatores associam o volume diário de chuva (mm/dia) ao tempo estimado de paralisação, considerando tanto o dia da precipitação quanto o intervalo necessário para que o solo volte a apresentar condições técnicas adequadas para execução de escavações, transporte e compactações.

A Tabela 2 apresenta os critérios utilizados para conversão da precipitação diária em dias improdutivos:

Tabela 2 – Fatores de paralisação adotados conforme volume de chuva

Volume de chuva (mm/dia)	Dias parados estimados
0 a 2 mm	0 dia
2 a 5 mm	0,75 dia
5 a 10 mm	1,0 dia
10 a 15 mm	1,5 dia
> 15 mm	2,0 dias

Fonte: Autor, 2026.

Esses parâmetros são baseados em boas práticas da engenharia de campo e em estudos especializados (como Girardi, 2018), que propõem critérios objetivos para estimar a paralisação de obras frente a variabilidade climática.

A aplicação dos fatores foi feita diretamente sobre os dados históricos de precipitação diária da cidade de Belo Horizonte, organizados por mês e por ano, permitindo o cálculo do número médio de dias impraticáveis mensais. O resultado dessa análise foi utilizado para ajustar a duração do cronograma do cenário com chuva, evidenciando a ampliação do prazo total e, por consequência, o aumento dos custos indiretos associados.

3.4 MODELAGEM DOS CENÁRIOS

A etapa de modelagem dos cenários teve como objetivo avaliar o impacto da variável climática sobre o planejamento e os custos indiretos de uma obra hipotética de terraplenagem. Para isso, foram construídos dois cenários distintos, com base nas mesmas características técnicas e operacionais. A única diferença entre eles é a consideração, ou não, da impraticabilidade climática associada às chuvas.

3.4.1 Cenário 1 – Planejamento sem considerar chuvas

Neste cenário, a obra foi planejada com base em uma execução contínua e sem interrupções por fatores climáticos. Adotou-se o número padrão de 22 dias úteis por mês, sem desconto de paralisações. Essa modelagem representa o cenário mais comum na prática de pequenas e médias empresas, que, por vezes, desconsideram a influência direta da precipitação pluviométrica sobre a produtividade real do canteiro de obras.

A distribuição das atividades foi feita com base nas produtividades médias dos equipamentos, nos volumes de serviço definidos (50.000 m³ escavados e 65.000 m³

transportados), nas composições unitárias do SINAPI e na alocação de 9 operadores/motoristas como equipe base para as atividades mecanizadas.

3.4.2 Cenário 2 – Planejamento com ajuste por impraticabilidade climática

O segundo cenário adota os mesmos insumos e produtividades do primeiro, mas aplica uma metodologia específica para estimar os impactos da chuva sobre a jornada de trabalho diária. Em vez de simplesmente adicionar dias de paralisação ao cronograma, foi adotado um modelo mais detalhado, baseado na quantificação da perda média de horas por dia útil, considerando a sazonalidade das chuvas ao longo do ano.

A metodologia seguiu os seguintes passos:

1. Para cada mês do ano, foi realizada a contagem dos dias impraticáveis com base nos critérios de paralisação por volume diário de chuva (conforme Tabela 1), aplicando os fatores de retomada sobre os dados históricos de precipitação de 2015 a 2024.
2. Com isso, obteve-se o número médio de dias parados por mês, ao longo de 10 anos.
3. A partir do número de dias parados médios em cada mês, foi calculada a quantidade de horas perdidas por mês (assumindo uma jornada padrão de 8 horas/dia), e posteriormente a média de horas efetivamente trabalhadas por dia útil, para cada mês do ano.
4. Com base nessas médias mensais, ajustou-se o ritmo de execução das atividades no cronograma, respeitando a sazonalidade da produtividade. Dessa forma, os meses mais chuvosos apresentam uma taxa menor de avanço físico das frentes de trabalho, enquanto os meses secos permitem maior progresso.

Esse modelo busca representar de forma mais realista o comportamento da obra em função das chuvas, especialmente em atividades sensíveis à umidade do solo, como escavação, transporte e compactação. Em vez de assumir interrupções absolutas, a modelagem considera a redução proporcional da jornada de trabalho efetiva por mês, distribuindo o impacto climático de forma contínua ao longo do cronograma.

3.4.3 Premissas Comuns aos Dois Cenários

Ambos os cenários compartilham os seguintes parâmetros técnicos:

- Volume escavado: 50.000 m³
- Volume transportado (fator de empolamento de 1,3): 65.000 m³
- Densidade média: 1,8 t/m³
- Distância média de transporte: 1,0 km
- Composições unitárias: SINAPI (100980, 100944, 104742)
- Mão de obra base: 9 operadores/motoristas alocados para operação de escavadeira, rolo compactador e caminhão basculante, motoniveladora e caminhão pipa
- Ferramenta de modelagem: Planilhas em Excel, com fórmulas automatizadas para integração de volume, produtividade, chuvas e horas efetivas de trabalho

Essa abordagem permitiu quantificar, de forma detalhada, os reflexos da sazonalidade climática sobre o desempenho produtivo e sobre os custos indiretos, tema a ser explorado nos itens seguintes.

3.5 COMPOSIÇÕES E PLANILHA DE QUANTIDADE

Nesta etapa do estudo foram consolidadas as composições unitárias de custo associadas às três principais atividades de uma obra de terraplenagem: escavação com carga mecânica, transporte interno de solo empolado e compactação de aterros. As composições foram extraídas da base do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), acrescidas da mão de obra de sete operadores/motoristas, e seus custos unitários foram obtidos conforme valores vigentes nas versões AF_07/2020 e AF_08/2023.

As composições selecionadas foram:

- Carga, manobra e descarga com escavadeira hidráulica e caminhão basculante – SINAPI 100980
- Transporte de solo com caminhão basculante em via interna – SINAPI 100944
- Compactação com rolo compressor vibratório (pé de carneiro) – SINAPI 104742

Com base nesses parâmetros, as quantidades e unidades de serviço consideradas para cálculo dos custos diretos foram organizadas na Tabela 3:

Tabela 3 – Quantitativos de serviços adotados

Atividade	Unidade de Medida	Quantitativo
Escavação com carga mecânica	m³	50.000
Transporte interno (1 km)	m³	65.000
Compactação de solo	m³	50.000

Fonte: Autor, 2026.

Cada composição inclui os insumos de equipamentos (escavadeira, caminhão, rolo compactador), custos médios por hora (produtiva e improdutiva) e a mão de obra complementar representada por sete operadores/motoristas.

Os valores foram organizados em planilhas eletrônicas para permitir o cálculo modular dos custos por atividade e posterior comparação entre os dois cenários.

3.6 CRONOGRAMA

Todos os períodos de chuva foram devidamente contabilizados no cronograma, seguindo os parâmetros de impraticabilidade definidos na revisão teórica (item 2.3). Em outras palavras, cada dia chuvoso registrado em Belo Horizonte no período de 2015 a 2024 foi convertido em dias de paralisação (“dias parados”) conforme a intensidade da precipitação, de acordo com a escala estabelecida. Os critérios adotados foram bastante conservadores – mesmo chuvas relativamente leves já geram paralisações parciais – e estão descritos a seguir:

- Chuva de 0 a 2 mm/dia: 0 dia parado (nenhuma paralisação, precipitação insignificante).
- Chuva de 2 a 5 mm/dia: 0,75 dias parados (paralisação de aproximadamente 3/4 do dia de trabalho).
- Chuva de 5 a 10 mm/dia: 1 dia parado (o dia de trabalho é considerado impraticável).
- Chuva de 10 a 15 mm/dia: 1,5 dias parados (1 dia totalmente parado mais meio dia adicional de impacto residual).
- Chuva acima de 15 mm/dia: 2 dias parados (paralisação do dia atual e do dia seguinte, devido aos efeitos de chuvas intensas).

Esses parâmetros asseguram que todos os eventos de chuva no período analisado contribuam para ajustes no cronograma. Cada dia com precipitação foi classificado em uma das faixas acima e teve sua equivalência em dias de paralisação somada ao cronograma da obra. Desse modo, os atrasos por condições climáticas estão

plenamente incorporados: por exemplo, chuvas moderadas a fortes (acima de 5 mm em 24 horas) já impõem obstáculos significativos à execução de serviços de campo, razão pela qual nosso critério considera qualquer chuva maior que 2 mm como motivo de interrupção parcial. Essa abordagem é alinhada a metodologias conservadoras encontradas na literatura – como o método de Mattos (2015), nas quais precipitações diárias superiores a 5 mm tornam o dia impraticável para trabalho em obras. Em contraste, métodos mais brandos (e.g. Mendes, 2006) só contabilizam um dia inteiro de paralisação para chuvas acima de 20 mm, porém optamos por uma margem de segurança maior no presente estudo.

Para o cenário específico de Belo Horizonte (2015–2024), a aplicação desses critérios revelou um impacto considerável dos períodos chuvosos. A cidade apresenta em média aprox. 1129 mm de precipitação anual distribuída em 166 dias de chuva. No cronograma analisado, grande parte desses dias chuvosos – especialmente durante a estação chuvosa, de outubro a março – resultam em algum nível de paralisação. Chuvas leves (abaixo de 2 mm/dia) não interrompem os trabalhos, mas chuvas moderadas e fortes recorrentes elevam significativamente o total de dias não trabalháveis. Todos os dias chuvosos identificados entre 2015 e 2024 foram computados, totalizando dezenas de dias de paralisação por ano no cronograma. Este número está na ordem de grandeza observada em estudos similares para regiões de clima tropical chuvoso: por exemplo, métodos conservadores podem estimar cerca de 80 dias parados por ano em regiões com precipitação anual em torno de 1500 mm. Logo, os ajustes efetuados no nosso cronograma – embora simplificado em apenas três atividades – representam fielmente os atrasos acumulados pela chuva nesse período.

Vale destacar que, por se tratar de um cronograma simples com três frentes de trabalho simultâneas, não há necessidade de avaliar caminho crítico ou dependências entre tarefas nesse contexto. Qualquer dia de chuva que resulte em paralisação afeta todas as atividades simultaneamente, prolongando de forma equivalente a duração total do projeto. Em suma, asseguramos que o cronograma incorpora integralmente os impactos dos períodos chuvosos de Belo Horizonte (2015–2024) conforme os parâmetros estabelecidos em item 2.3, garantindo uma previsão realista de duração da obra considerando as interrupções climáticas esperadas.

Tabela 4 – Horas improdutivas por mês

Mês	Horas Perdidas (h/mês)	Dias Parados (h ÷ 8)
Janeiro	96 h	12 dias
Fevereiro	48 h	6 dias
Março	64 h	8 dias
Abril	24 h	3 dias
Maio	16 h	2 dias
Junho	8 h	1 dia
Julho	0 h	0 dias
Agosto	0 h	0 dias
Setembro	16 h	2 dias
Outubro	32 h	4 dias
Novembro	72 h	9 dias
Dezembro	104 h	13 dias

Fonte: Autor, 2026.

3.7 CUSTOS INDIRETOS

Neste item são abordados os custos indiretos de obra e sua estimativa mensal, destacando sua relevância no planejamento e orçamento. Custos indiretos são despesas necessárias ao funcionamento do projeto e da empresa, mas que não podem ser atribuídas diretamente a um serviço específico. Incluem, por exemplo, gastos com administração da obra, estruturas de canteiro, segurança, alojamento e outros suportes gerais. A correta estimativa e alocação desses custos é fundamental para a precisão orçamentária – uma gestão ineficaz pode levar a preços distorcidos, perda de competitividade e até inviabilizar o projeto. Além disso, em projetos de longa duração, custos indiretos aumentam proporcionalmente ao prazo: atrasos ou extensões (como as causadas por chuvas) implicam mais meses de despesas fixas em salários, equipamentos parados, manutenção do canteiro etc., onerando significativamente o empreendimento caso não tenham sido previstos adequadamente.

Metodologia de estimativa: para calcular os custos indiretos mensais típicos de uma obra de terraplenagem de médio porte, adotou-se uma abordagem baseada em valores médios de mercado atualizados em 2025. Cada categoria de custo indireto foi orçada separadamente como um custo fixo mensal, conforme recomendado por práticas de orçamento (por exemplo, orçar a Administração da Obra como despesa fixa mensal). Foram utilizadas fontes técnicas confiáveis – como a tabela SINAPI e referências sindicais – para obter preços atualizados de insumos e salários, garantindo dados realistas. Por exemplo, considerou-se a mão de obra de apoio: o

salário médio de um engenheiro civil residente em 2025 é cerca de R\$ 9,4 mil mensais e de um mestre de obras em torno de R\$ 4,2 mil (valores de carteira, sem adicionais). Esses números, somados a encargos trabalhistas e demais custos de pessoal, serviram de base para estimar o custo de administração local. De modo análogo, utilizou-se dados de convenções coletivas para benefícios obrigatórios (como alimentação dos trabalhadores) e referências de mercado para serviços terceirizados (por exemplo, vigilância do canteiro). Todos os valores foram então consolidados por categoria, chegando-se a uma estimativa mensal total para os custos indiretos, conforme detalhado a seguir.

As principais categorias de custos indiretos consideradas – e sua representatividade típica – são descritas abaixo, com seus respectivos valores médios mensais estimados:

- **Administração Local:** engloba as despesas com a equipe técnica e administrativa alocada na obra e a manutenção da estrutura de gerenciamento no canteiro. Inclui salários e encargos do engenheiro residente responsável, mestres de obras, encarregados, almoxarife e pessoal de supervisão, além de eventuais técnicos de segurança e apoio administrativo. Estes profissionais garantem o planejamento, controle de qualidade, suprimentos e gestão diária da obra. Para uma obra de médio porte, esse conjunto de mão de obra indireta gera um custo significativo: somando-se um engenheiro (remuneração média ~R\$ 9 mil), um mestre de obras (~R\$ 4 mil) e demais funcionários de apoio, acrescidos os encargos trabalhistas, estima-se cerca de R\$ 30.000,00 mensais destinados à administração local da obra.
- **Segurança Patrimonial:** refere-se às medidas de vigilância do canteiro e proteção dos equipamentos e materiais, indispensáveis sobretudo em obras a céu aberto ou em locais de grande extensão. Inclui a contratação de vigias ou vigilantes para ronda 24 horas, sistemas de controle de acesso e eventualmente monitoramento eletrônico. Em 2025, o custo de um serviço terceirizado de segurança patrimonial para um canteiro pode oscilar entre R\$ 8.000,00 e R\$ 11.000,00 por mês, dependendo do nível de cobertura e da região. No caso em estudo, considerou-se um posto de vigilância 24h, resultando em aproximadamente R\$ 10.000,00 mensais nesta categoria.

- **Alojamento e Alimentação:** abrange os gastos com hospedagem, alimentação e bem-estar dos trabalhadores no canteiro. Em obras de terraplenagem fora de centros urbanos, é comum a empresa prover alojamentos (acampamentos ou alojamentos temporários) e refeições diárias aos operários. Mesmo em obras próximas a áreas urbanas, a legislação trabalhista e as convenções coletivas exigem que se forneça alimentação subsidiada aos funcionários no local de trabalho. Segundo a Convenção Coletiva da Construção Civil de 2025, por exemplo, o tíquete-alimentação mensal por trabalhador foi fixado em R\$ 696,30 (ou R\$ 31,65 por dia efetivo de trabalho). Considerando um contingente médio de trabalhadores na obra, o custo mensal com refeições pode atingir a ordem de R\$ 20.000,00 (por exemplo, ~30 operários × ~R\$ 700 cada). Adicionalmente, se a obra exige alojamento em canteiro, há custos com manutenção de dormitórios, instalações sanitárias e refeições extras nos fins de semana (conforme exigido pelas normas). Assim, estimou-se um total em torno de R\$ 21.000,00 mensais para cobrir alojamento e alimentação dos funcionários, valor que inclui tanto os insumos alimentícios quanto a logística de preparo/serviço das refeições e a infraestrutura dos alojamentos.
- **Utilidades (Água, Energia, Comunicações):** são os custos dos insumos básicos para manter o canteiro operante. Incluem contas de energia elétrica (iluminação do canteiro, acionamento de equipamentos auxiliares, eventualmente bombeamento de água ou geração de energia por grupos geradores), abastecimento de água potável e para uso em obras, esgotamento sanitário temporário, telefone e internet do escritório de obra, entre outros. Esses consumos estão entre as despesas fixas de administração local previstas nas normas. Para uma obra de médio porte, tais utilidades foram orçadas em torno de R\$ 3.000,00 mensais. Esse montante cobre, por exemplo, a conta de luz do canteiro e do alojamento, consumo de água (incluindo caminhões-pipa se necessário) e serviços de comunicação (linha telefônica, rádio e pacote de dados de internet para a equipe do projeto). Ressalta-se que os valores reais podem variar conforme a localização (tarifas regionais) e a estrutura do canteiro – por exemplo, canteiros que operem com geradores a diesel podem ter custos de combustível incluídos aqui. Ainda assim, o valor adotado serve como média

representativa baseada em obras similares e referências de consumo estimado.

- Estruturas Provisórias do Canteiro: correspondem às instalações temporárias físicas montadas para viabilizar os trabalhos. Engloba os escritórios de obra (por exemplo, contêineres ou barracões administrativos), almoxarifados e depósitos de materiais, refeitórios e cozinhas industriais provisórias, vestiários e sanitários móveis, além de cercamentos, portarias, sinalização de obra e outras edificações não permanentes. Esses itens compõem o canteiro de obras em si e devem ser dimensionados e orçados de acordo com o porte da obra. Os custos associados incluem tanto a mobilização e instalação inicial dessas estruturas (montagem, ligações provisórias de energia/água, etc.) quanto sua operação/manutenção ao longo dos meses e, ao final, a desmobilização (desmontagem e remoção). No orçamento, é usual distribuir tais custos ao longo da duração do projeto, convertendo-os em um equivalente mensal. Para a obra em análise, estimou-se aproximadamente R\$ 3.000,00 por mês em estruturas provisórias, valor obtido pela amortização dos investimentos no canteiro (por exemplo, aluguel de módulos habitáveis, montagem de tapumes e placas de obra, instalação de tanques, etc.). Esse valor cobre, ilustrativamente, a locação de um contêiner escritório mobilhado, banheiros químicos ou estação sanitária, e demais instalações de apoio dimensionadas para uma obra de médio porte.
- Despesas Operacionais Diversas: compreende uma categoria de gastos gerais necessários para o funcionamento administrativo e operacional da obra, não enquadrados nos itens anteriores. Inclui, por exemplo, os seguros do canteiro e da obra (seguro contra riscos de engenharia, responsabilidade civil), despesas com equipamentos de proteção coletiva e individual fornecidos aos trabalhadores, material de escritório e de informática de consumo (papel, cartuchos, softwares de gerenciamento), custos de comunicação adicionais (rádios, celulares corporativos, etc.), transporte local de pessoal (veículos de apoio, combustível para caminhonetes de supervisão), manutenção de equipamentos de apoio (por exemplo, manutenção de geradores, bombas ou máquinas paradas) e eventuais serviços terceirizados de apoio (consultorias técnicas, topografia complementar, vigilância eletrônica, coleta de lixo do

canteiro, etc.). Essas despesas asseguram o funcionamento contínuo e a segurança das operações no canteiro, bem como o cumprimento de exigências legais (por exemplo, monitoramento ambiental, programas de segurança do trabalho, treinamentos periódicos conforme NR-18, etc.). Para efeitos de orçamento, foi reservada uma quantia em torno de R\$ 3.000,00 mensais para as despesas operacionais diversas. Esse montante engloba, por exemplo, o prêmio de seguros obrigatórios e variáveis como comunicações e pequenos gastos do dia a dia, funcionando também como margem para imprevistos operacionais de pequeno porte que não estejam contemplados nos custos diretos.

Tabela 5 – Estimativa de custos indiretos mensais por categoria para uma obra de terraplenagem de médio porte (valores em R\$ de 2025)

Categoria	Custo Indireto Mensal (R\$)
Administração local	R\$ 30.000,00
Segurança patrimonial	R\$ 10.000,00
Alojamento/Alimentação	R\$ 21.000,00
Utilidades (água, energia, etc.)	R\$ 3.000,00
Estruturas provisórias	R\$ 3.000,00
Despesas operacionais	R\$ 3.000,00
Total	R\$ 70.000,00

Fonte: Autor, 2026. Elaborado com base em SINAPI, dados sindicais e literatura técnica sobre custos indiretos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em SINAPI, dados sindicais e literatura técnica sobre custos indiretos.

No contexto do planejamento econômico-financeiro, esses custos indiretos mensais – da ordem de dezenas de milhares de reais por mês – exercem impacto considerável no orçamento de obras de terraplenagem. É imprescindível incorporá-los de forma adequada na composição do BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) ou em planilhas específicas, para que o orçamento reflita o custo real do empreendimento e a empresa mantenha sua margem de lucro mesmo diante de oscilações no cronograma. Em suma, a estimativa detalhada apresentada assegura que o efeito das chuvas (ou de quaisquer interferências que estendam a duração da obra) possa ser quantificado em termos financeiros, evidenciando o acréscimo de custos indiretos decorrente de prolongamentos de prazo. Tal abordagem reforça a importância de um planejamento realista e serve de subsídio para análises de viabilidade e tomada de decisão durante a gestão do projeto.

3.8 CUSTOS DIRETOS

Neste item são apresentados os custos diretos adotados para a frente de terraplenagem analisada. Conforme a literatura de orçamentação de obras, custos diretos são aqueles que podem ser identificados, quantificados e mensurados objetivamente na planilha orçamentária, correspondendo aos gastos diretamente associados à execução do serviço, tais como materiais, equipamentos e mão de obra, acrescida dos respectivos encargos sociais quando cabíveis.

Para o presente estudo, optou-se por compor os custos diretos apenas com duas parcelas principais: locação mensal dos equipamentos e mão de obra operacional. Essa simplificação é compatível com o escopo do trabalho e permite representar, de forma objetiva, o custo recorrente necessário à execução da terraplenagem. Assim, foi considerado um aluguel fixo mensal para cada equipamento mobilizado, independentemente de variações de utilização horária ao longo do mês. O conjunto mecanizado adotado é composto por quatro caminhões basculantes de 12 m³, duas escavadeiras hidráulicas de 20 t, um rolo compactador liso, uma motoniveladora e um caminhão pipa. Para operar esse sistema produtivo, foram previstos cinco motoristas de caminhão e quatro operadores de equipamentos, correspondentes à operação da escavadeira e do rolo compactador. Este custo fixo mensal dos equipamentos engloba todo o gasto com combustível, manutenção, troca de óleo, troca de material rodante, entre outros.

No caso da mão de obra, os salários-base adotados foram de R\$ 3.000,00 para cada motorista e de R\$ 3.500,00 para cada operador. Sobre esses valores, aplicou-se encargo social total de 80%.

A partir dessas premissas, o subtotal mensal da locação dos equipamentos foi de R\$ 205.000,00, sendo R\$ 80.000,00 referentes aos quatro caminhões basculantes, R\$ 70.000,00 às escavadeiras hidráulicas, R\$ 20.000,00 ao rolo compactador, R\$ 15.000,00 ao caminhão pipa, R\$ 20.000,00 à motoniveladora. Para a mão de obra, o subtotal dos salários-base foi de R\$ 29.000,00 por mês, dos quais R\$ 15.000,00 correspondem aos cinco motoristas e R\$ 14.000,00 aos quatro operadores. Aplicando-se os encargos sociais de 80%, obteve-se valor adicional de R\$ 23.200,00, resultando em R\$ 52.200,00 mensais de custo total de mão de obra. Dessa forma, o custo direto mensal total adotado para a operação de terraplenagem foi de R\$ 257.200,00.

Tabela 6 – Custos diretos mensais

Categoria	Quantidade	Valor unitário	Subtotal mensal
Caminhão basculante (12 m ³)	4	R\$ 20.000,00	R\$ 80.000,00
Escavadeira hidráulica (20 t)	2	R\$ 35.000,00	R\$ 70.000,00
Rolo compactador liso	1	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00
Motoniveladora	1	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00
Caminhão Pipa	1	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Subtotal de equipamentos			R\$ 205.000,00
Motorista de caminhão	5	R\$ 3.000,00	R\$ 15.000,00
Operador de equipamentos	4	R\$ 3.500,00	R\$ 14.000,00
Subtotal dos salários-base			R\$ 29.000,00
Encargos sociais	80% sobre salários		R\$ 23.200,00
Subtotal de mão de obra com encargos			R\$ 52.200,00
Total de custos diretos mensais			R\$ 257.200,00

Fonte: Autor, 2026

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DETERMINAÇÃO DAS HORAS PRODUTIVAS MENSAIS

Conforme descrito na metodologia, a modelagem dos cenários foi realizada a partir da incorporação da influência das chuvas sobre a disponibilidade de horas produtivas ao longo do ano. Para isso, foram utilizados os dados pluviométricos históricos da cidade de Belo Horizonte (MG), abrangendo o período de 2015 a 2024, processados segundo os critérios de impraticabilidade apresentados no Capítulo 3.

A aplicação dos fatores de paralisação permitiu estimar, para cada mês do ano, a quantidade média de horas improdutivas decorrentes das precipitações e, consequentemente, a disponibilidade média de horas efetivamente trabalháveis. O resultado desse processamento encontra-se apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Horas improdutivas e produtivas médias por mês

Mês	Horas improdutivas (h)	Horas produtivas (h)	Horas trabalháveis por dia (h/dia)
Janeiro	96	80	3,64
Fevereiro	48	128	5,82
Março	64	112	5,09
Abril	24	152	6,91
Maio	16	160	7,27
Junho	8	168	7,64
Julho	0	176	8,00
Agosto	0	176	8,00
Setembro	16	160	7,27
Outubro	32	144	6,55
Novembro	72	104	4,73
Dezembro	104	72	3,27

Fonte: Autor, 2026

Observa-se uma clara sazonalidade na disponibilidade de horas produtivas ao longo do ano. Os meses compreendidos entre junho e agosto apresentam as melhores condições operacionais, registrando valores próximos à jornada integral de oito horas diárias. Em contrapartida, os meses de novembro a março apresentam significativa redução da produtividade potencial devido à maior incidência de chuvas, característica típica do regime climático da região metropolitana de Belo Horizonte.

Os resultados evidenciam que a simples escolha da data de início da obra pode influenciar significativamente o prazo final de execução. Dessa forma, a utilização de calendários produtivos ajustados às condições climáticas representa uma ferramenta

importante para o desenvolvimento de cronogramas mais realistas e aderentes às condições efetivamente encontradas em campo.

4.2 DEFINIÇÃO DAS ATIVIDADES E DURAÇÃO DOS SERVIÇOS

A obra hipotética adotada neste estudo foi estruturada a partir de três atividades principais representativas de uma operação convencional de terraplenagem: escavação e carga do material, transporte interno e compactação do aterro.

Para determinação dos custos e produtividades foram utilizadas composições unitárias do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), selecionadas por sua compatibilidade com as características da obra analisada. As composições utilizadas foram:

- Composição SINAPI 100980 – Carga, manobra e descarga de solos e materiais granulares em caminhão basculante;
- Composição SINAPI 100944 – Transporte com caminhão basculante em via interna;
- Composição SINAPI 104742 – Compactação de solos com rolo compactador.

Os quantitativos considerados foram definidos a partir das premissas apresentadas no Capítulo 3, sendo adotados 50.000 m³ para escavação, 65.000 m³ para transporte e 50.000 m³ para compactação.

A Tabela Y apresenta os quantitativos, produtividades e durações calculadas para cada atividade.

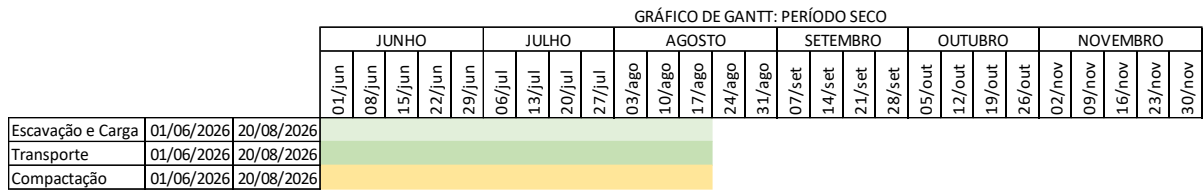
Tabela 8 – Quantitativos e duração das atividades

Atividade	Unidade	Quantidade	Produtividade	Duração (horas)
Escavação e carga	m ³	50.000	120 m ³ /h	416,67
Transporte	m ³	65.000	144 m ³ /h	451,39
Compactação	m ³	50.000	300 m ³ /h	166,67

Fonte: Autor, 2026

As três atividades de escavação, transporte e compactação foram consideradas simultâneas, uma vez que representam etapas integradas do processo de terraplenagem. Dessa forma, a duração do empreendimento é determinada pela atividade de maior duração, correspondente a 451,39 horas.

Nota-se que a atividade crítica do projeto é a atividade de transporte, pois é a atividade com maior duração, portanto não há folga na sua execução. Já as atividades



Fonte: Autor, 2026

4.4 COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS DE EXECUÇÃO

4.4.1 Cenário 1 – Início da obra em junho

Considerando o início da execução em junho, a obra atravessa predominantemente meses de baixa incidência pluviométrica. Nesse período, a disponibilidade acumulada de horas produtivas é elevada, permitindo que a maior parte das atividades seja executada durante a estação seca.

A partir dos valores apresentados na Tabela 7, observa-se que os meses de junho e julho disponibilizam conjuntamente 344 horas produtivas. Assim, ao final de agosto restam apenas 107,39 horas para conclusão do empreendimento, as quais são executadas durante o mês de agosto.

Dessa forma, a conclusão da obra ocorre aproximadamente na metade do mês de agosto, resultando em uma duração total próxima de dois meses e meio.

4.4.2 Cenário 2 – Início da obra em novembro

Quando a obra é iniciada em novembro, o cronograma passa a atravessar os meses mais chuvosos do ano. Como consequência direta, a disponibilidade de horas produtivas é significativamente reduzida.

Somando-se as horas produtivas disponíveis entre novembro e fevereiro, obtém-se um total de 384 horas. Como a duração técnica do empreendimento é de 451,39 horas, permanecem ainda 67,39 horas a serem executadas após o término de fevereiro.

Esse saldo é concluído ao longo do mês de março, resultando em uma duração total próxima de quatro meses e meio.

A comparação entre os dois cenários demonstra que a alteração da data de mobilização, mesmo mantendo os demais parâmetros constantes, produz um impacto expressivo sobre o prazo final da obra.

4.5 IMPACTO DA SAZONALIDADE CLIMÁTICA NO PLANEJAMENTO

Os resultados obtidos demonstram que a variável climática exerce influência direta sobre o desempenho temporal de obras de terraplenagem. Embora a duração técnica calculada para o empreendimento seja de 451,39 horas, o tempo efetivamente necessário para sua conclusão varia significativamente em função do período do ano em que a execução é iniciada.

No cenário iniciado em junho, a obra foi concluída em aproximadamente 2,6 meses, aproveitando a elevada disponibilidade de horas produtivas característica do período seco. Em contrapartida, o cenário iniciado em novembro demandou aproximadamente 4,6 meses para conclusão, em razão da expressiva redução das horas disponíveis durante a estação chuvosa.

Verifica-se, portanto, um aumento de aproximadamente 72,84% na duração total da obra quando a execução é iniciada durante o período de maior incidência pluviométrica.

Esse resultado evidencia a importância da incorporação de critérios de impraticabilidade climática durante as etapas de planejamento e orçamentação. A desconsideração dessa variável pode conduzir à elaboração de cronogramas inexecutáveis e à subestimação dos custos indiretos associados à permanência prolongada de equipes, equipamentos e estruturas de apoio no canteiro de obras.

4.6 ANÁLISE DOS CUSTOS DIRETOS E INDIRETOS

Após a definição dos cronogramas para os cenários de início da obra em período seco e em período chuvoso, procedeu-se à análise dos impactos financeiros decorrentes da diferença de prazo observada entre os dois casos.

Conforme apresentado anteriormente, a duração da obra iniciada em período seco foi de aproximadamente 2,6 meses, compreendendo o período entre 01 de junho de 2026 e 20 de agosto de 2026. Já o cenário iniciado em período chuvoso apresentou duração equivalente a 4,6 meses, com execução entre 01 de novembro de 2026 e 20 de março de 2027.

Para efeito de cálculo dos custos totais, foram considerados tanto os custos diretos quanto os custos indiretos associados à manutenção da operação durante todo o

período de execução. Nos meses de término da obra foi adotada proporcionalidade em relação ao período efetivamente trabalhado, considerando 60% dos custos referentes ao mês de agosto de 2026 e 60% dos custos referentes ao mês de março de 2027.

4.6.1 Custos Diretos

Os custos diretos foram compostos pelos equipamentos utilizados na operação e pela mão de obra necessária para sua operação.

A frota considerada foi composta por quatro caminhões basculantes, duas escavadeiras hidráulicas, um rolo compactador, uma motoniveladora e um caminhão pipa. Os valores mensais de locação adotados foram de R\$ 20.000,00 para cada caminhão basculante, R\$ 35.000,00 para cada escavadeira hidráulica, R\$ 20.000,00 para o rolo compactador, R\$ 20.000,00 para a motoniveladora e R\$ 15.000,00 para o caminhão pipa.

Vale ressaltar que o caminhão pipa e a motoniveladora são equipamentos de apoio necessários para a realização das atividades de terraplanagem.

Em relação à mão de obra, foram considerados cinco motoristas de caminhão e quatro operadores de equipamentos. Os salários-base adotados foram de R\$ 3.000,00 para os motoristas e R\$ 3.500,00 para os operadores, acrescidos de 80% referentes aos encargos sociais e trabalhistas.

A Tabela 9 apresenta o resumo dos custos diretos mensais considerados.

Tabela 9 – Custos diretos mensais

Item	Valor mensal (R\$)
Caminhões basculantes (4 unidades)	80.000,00
Escavadeiras hidráulicas (2 unidades)	70.000,00
Rolo compactador (1 unidade)	20.000,00
Motoniveladora (1 unidade)	20.000,00
Caminhão pipa (1 unidade)	15.000,00
Mão de obra com encargos	52.200,00
Total de custos diretos	257.200,00

Fonte: Autor, 2026

4.6.2 Custos Indiretos

Os custos indiretos contemplam as despesas necessárias para manutenção da estrutura administrativa e operacional da obra, independentemente da quantidade produzida.

Foram considerados custos relativos à administração local, segurança patrimonial, alojamento e alimentação dos colaboradores, utilidades (água, energia elétrica e comunicação), estruturas provisórias e despesas operacionais gerais.

A Tabela 10 apresenta os valores mensais adotados para cada categoria.

Tabela 10 – Custos indiretos mensais

Item	Valor mensal (R\$)
Administração local	30.000,00
Segurança patrimonial	10.000,00
Alojamento e alimentação	21.000,00
Utilidades	3.000,00
Estruturas provisórias	3.000,00
Despesas operacionais	3.000,00
Total de custos indiretos	70.000,00

Fonte: Autor, 2026

Somando-se os custos diretos e indiretos, obteve-se um custo mensal total de R\$ 327.200,00 para manutenção da operação.

4.6.3 Comparação dos Cenários

A partir dos cronogramas desenvolvidos, foi possível determinar o custo total de execução para cada cenário analisado.

No cenário iniciado em junho de 2026, correspondente ao período seco, a duração total da obra foi equivalente a 2,6 meses, resultando em um custo total de R\$ 850.720,00.

Já no cenário iniciado em novembro de 2026, correspondente ao período chuvoso, a duração total da obra atingiu 4,6 meses, resultando em um custo total de R\$ 1.505.120,00.

A Tabela 11 apresenta a comparação consolidada dos resultados.

Tabela 11 – Comparação financeira entre os cenários

Indicador	Período seco	Período chuvoso
Data de início	01/06/2026	01/11/2026
Data de término	20/08/2026	20/03/2027
Duração (dias corridos)	81	140
Duração equivalente (meses)	2,6	4,6
Custo total (R\$)	850.720,00	1.505.120,00

Fonte: Autor, 2026

A diferença absoluta entre os cenários foi de R\$ 640.400,00, representando um aumento de aproximadamente 76,92% no custo total da obra quando iniciada durante o período chuvoso.

Os resultados demonstram que, embora os quantitativos executados permaneçam exatamente os mesmos em ambos os cenários, a extensão do prazo ocasionada pela redução da disponibilidade de horas produtivas gera um aumento significativo dos custos totais do empreendimento. Esse aumento decorre principalmente da necessidade de manter mobilizados os equipamentos, a mão de obra e toda a estrutura administrativa e operacional por um período maior de tempo.

Dessa forma, verifica-se que a não consideração da sazonalidade climática durante as etapas de planejamento e orçamentação pode resultar em significativa subestimação dos custos e dos prazos da obra. A aplicação da metodologia de impraticabilidade climática proposta neste estudo permitiu quantificar objetivamente esse impacto, evidenciando a importância da incorporação de variáveis climáticas nos processos de planejamento de obras de terraplenagem.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar a influência da aplicação de uma metodologia de cálculo de impraticabilidade climática no planejamento e na orçamentação de obras de terraplenagem, avaliando os impactos da sazonalidade das chuvas sobre os prazos e custos de execução. Para isso, foram comparados dois cenários de uma obra hipotética de movimentação de terra, utilizando os mesmos quantitativos, equipamentos, equipe operacional e produtividade, diferenciando-se apenas pela consideração dos efeitos das chuvas sobre a disponibilidade de horas produtivas.

A partir dos dados pluviométricos históricos da cidade de Belo Horizonte, referentes ao período de 2015 a 2024, foi possível determinar a quantidade média de horas produtivas disponíveis em cada mês do ano, considerando os fatores de impraticabilidade climática definidos para as atividades de terraplenagem. Essa abordagem permitiu transformar informações climáticas históricas em parâmetros diretamente aplicáveis ao planejamento executivo da obra.

Os resultados obtidos demonstraram que a influência das chuvas sobre a duração do empreendimento é significativa. Embora a duração técnica da obra tenha sido estimada em 451,39 horas, a data de início das atividades provocou diferenças expressivas no prazo total de execução. No cenário iniciado em junho de 2026, período caracterizado por menor incidência pluviométrica, a obra foi concluída em 20 de agosto de 2026, totalizando 81 dias corridos. Por outro lado, quando iniciada em novembro de 2026, período correspondente ao início da estação chuvosa, a conclusão ocorreu apenas em 20 de março de 2027, resultando em uma duração de 140 dias corridos. Dessa forma, observou-se um aumento de aproximadamente 72,84% no prazo total da obra em função da sazonalidade climática.

Os impactos financeiros apresentaram comportamento semelhante. Considerando os custos diretos associados à mobilização dos equipamentos e da mão de obra, bem como os custos indiretos relacionados à administração local, segurança patrimonial, alimentação, utilidades e demais despesas de suporte, verificou-se que o prolongamento do cronograma provocou aumento expressivo no custo total do empreendimento. O cenário executado em período seco apresentou custo estimado de R\$ 850.720,00, enquanto o cenário iniciado em período chuvoso atingiu R\$

1.505.120,00. A diferença observada foi de R\$ 654.400,00, correspondente a um acréscimo de aproximadamente 76,92%.

Esses resultados respondem diretamente à pergunta de pesquisa proposta, demonstrando que a incorporação de metodologias de cálculo de impraticabilidade climática pode alterar substancialmente as estimativas de prazo e custo de obras de terraplenagem. A não consideração da variável climática tende a produzir cronogramas excessivamente otimistas e orçamentos subdimensionados, comprometendo a previsibilidade financeira e operacional dos empreendimentos.

Além dos resultados quantitativos, o estudo reforça a importância do planejamento como ferramenta estratégica para mitigação de riscos na construção civil. A utilização de dados históricos de precipitação associados a critérios objetivos de paralisação mostrou-se uma alternativa simples, acessível e compatível com a realidade de empresas de pequeno e médio porte, podendo ser implementada por meio de ferramentas amplamente disponíveis, como planilhas eletrônicas.

Do ponto de vista prático, o trabalho demonstra que a definição do período de mobilização de uma obra pode representar uma oportunidade relevante de otimização de prazo e redução de custos. Do ponto de vista metodológico, evidencia a viabilidade da integração entre dados climáticos históricos, produtividade e orçamento em uma única ferramenta de análise. Já sob a perspectiva acadêmica, contribui para ampliar a discussão acerca da influência das variáveis ambientais no planejamento de obras de engenharia civil, tema ainda pouco explorado de forma quantitativa na literatura nacional.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros ampliem a metodologia proposta para contemplar diferentes regiões climáticas do país, outros tipos de serviços de construção civil e variáveis adicionais que também influenciam a produtividade das obras, como condições geotécnicas, disponibilidade de recursos, interrupções operacionais e eventos climáticos extremos. A incorporação desses fatores poderá contribuir para o desenvolvimento de modelos de planejamento cada vez mais realistas e aderentes às condições efetivamente encontradas em campo.

REFERÊNCIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Hidroweb. Brasília, DF: ANA, [s.d.].

ASKEW, W. H.; AL-JIBOURI, S. H. S.; MAWDESLEY, M. J.; PATTERSON, D. E. Planning linear construction projects: automated method for the generation of earthwork activities. *Automation in Construction*, v. 11, n. 2002, p. 643–653, 2002.

BERNARDES, Mauricio Moreira e Silva. Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção. 2001. 282 f. Tese (Doutorado em Eng. Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

COELHO, Dilson Machado. Estimativa dos dias parados em obras de engenharia em função da chuva. 2015. 15 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2015.

DUARTE, Thyago de Oliveira. Desenvolvimento de planilha eletrônica para a distribuição de materiais em obras de terraplenagem. 2013. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

GIRARDI, Glauco. A importância da praticabilidade no planejamento. LinkedIn, 16 jan. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Sobre meteorologia. Brasília, DF: INMET, [s.d.].

LARROSA INSFRÁN, Andres Antonio. Um sistema para planejamento operacional de obras de rodovias. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001

MAXIMIANO, Antonio César Amaru. Teoria geral da administração: da revolução urbana à revolução digital. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1995.

MATTOS, Aldo Dórea. Planejamento e controle de obras. São Paulo: Pini, 2010.

OLIVEIRA, Djalma de Pinho Rebouças de. Planejamento estratégico: conceitos, metodologia e práticas. 23. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

PAN, Nang-Fei. Assessment of productivity and duration of highway construction activities subject to impact of rain. *Expert Systems with Applications*, [S.l.], v. 28, n. 2, p. 313-326, 2005. DOI: 10.1016/j.eswa.2004.10.011.

RICARDO, Hélio de Souza; CATALANI, Guilherme. Manual prático de escavação: terraplenagem e escavação de rocha. 3. ed. São Paulo: Pini, 2007.

SILVA, Marize Santos Teixeira Carvalho. Planejamento e controle de obras. 2011. 98 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

ZYNGER, Lisiane. Análise da interferência das condições climáticas na execução de serviços na construção civil: subsídio para planejamentos e contratos. 2000. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

CATERPILLAR. Swell & void percentage, load factors. Peoria: Caterpillar, 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de implantação básica de rodovia. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT/IPR, 2010. Publicação IPR 742.