

**JULIANA DE SOUZA MARTINEZ**

**JOANA MARQUES DEMORI**

Análise do planejamento de obras de revitalização através da metodologia

PERT/CPM

PROJETO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
APRESENTADO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL  
DA PUC-RIO, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO  
DO TÍTULO DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO

Orientador: Prof. Leonardo dos Santos Lourenço Bastos (PUC-Rio)

Coorientadora: Profa. Soraida Aguilar (UFF)

Departamento de Engenharia Industrial

Rio de Janeiro, 07 de julho de 2025

## RESUMO

Este estudo modela o cronograma da reforma integral da fachada do edifício-sede de uma companhia petrolífera por meio do método PERT/CPM e de três análises de sensibilidade. Dezoito atividades principais, acrescidas de inspeções, ajustes e reinspeções, tiveram tempos estimados por cronometragens em campo, entrevistas técnicas e composições SINAPI; os dados alimentaram três cenários estatísticos (Normal, Exponencial e Misto) construídos em planilha eletrônica. O cenário de referência (Misto) resultou em 308,61 dias, enquanto os cenários Normal e Exponencial indicaram 280,91 e 329,82 dias, respectivamente, mantendo inalterado o caminho crítico dominado por desmontagens de brises, instalação de vidros e inspeções finais. A robustez foi testada variando-se parâmetros de dispersão ( $\pm 5\%$ ,  $\pm 15\%$ ,  $\pm 30\%$ ), substituindo quantis otimista/pessimista (P2–P98, P10–P90, P20–P80) e ajustando  $\pm 5\%$  e  $\pm 15\%$  os tempos das tarefas críticas; mesmo na condição mais extrema, a duração oscilou entre 290,0 e 342,5 dias e a sequência crítica permaneceu estável, com elasticidades inferiores a 0,25. Esses resultados demonstram que a distribuição mista reproduz de modo mais fiel a variabilidade das tarefas e que as folgas existentes absorvem oscilações moderadas, assegurando um modelo prático, robusto e adequado ao controle de prazos em obras de fachada similares.

**Palavras-chave:** PERT/CPM; cronograma; análise de sensibilidade; fachada; gestão de prazos.

## ABSTRACT

This study models the schedule for the full-scale façade refurbishment of a petroleum company's headquarters building by combining the PERT/CPM method with three systematic sensitivity analyses. Eighteen main activities, supplemented by inspections, adjustments, and re-inspections, had optimistic, most-likely, and pessimistic durations estimated through on-site time studies, technical interviews, and SINAPI cost-database references. These data populated three statistical scenarios (Normal, Exponential, and Mixed) implemented in a spreadsheet environment. The reference scenario (Mixed) yielded a total duration of 308.61 days, whereas the Normal and Exponential scenarios produced 280.91 and 329.82 days, respectively, without altering the critical path dominated by brise-soleil dismantling, glazing installation, and final inspections. Robustness was tested by (i) varying dispersion parameters by  $\pm 5\%$ ,  $\pm 15\%$ , and  $\pm 30\%$ ; (ii) replacing optimistic/pessimistic quantiles with P2–P98, P10–P90, and P20–P80; and (iii) adjusting the expected times of critical activities by  $\pm 5\%$  and  $\pm 15\%$ . Even under the most extreme conditions, project duration ranged only from 290.0 to 342.5 days and the critical sequence remained stable, yielding elasticities below 0.25. These results show that the mixed distribution more accurately reflects activity variability and that existing floats absorb moderate fluctuations, providing a practical, robust, and reliable model for schedule control in similar façade projects.

**Keywords:** PERT/CPM; schedule; sensitivity analysis; façade refurbishment; time management.

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	7
2. Referencial Teórico.....	11
2.1 Gestão de Projetos.....	11
2.2 Rede PERT/CPM .....	12
2.3 Construção da Rede PERT/CPM .....	13
2.4 Critical Path Method (CPM) ou Caminho Crítico .....	15
2.5 Análise de Sensibilidade e Incertezas em Cronogramas.....	16
3. Metodologia .....	18
3.1 Descrição do Projeto .....	18
3.2 Coleta de Dados .....	19
3.2.1 Fontes de Informação.....	19
3.2.2 Identificação e Sequenciamento das atividades.....	21
3.2.3 Estimativas de duração das atividades.....	23
3.3 Modelagem do Processo .....	26
3.4 Definição do Caminho Crítico .....	26
3.5 Análise de sensibilidade.....	27
3.5.1 Análise de Sensibilidade 1 .....	28
3.5.2 Análise de Sensibilidade 2 .....	28
3.5.3 Análise de Sensibilidade 3 .....	29
4. Resultados.....	30
4.1 Tempos Esperados .....	30
4.2 Rede de atividades.....	32
4.3 Caminho Crítico .....	33
4.4 Resultados Análise de Sensibilidade.....	36
4.4.1 Análise de Sensibilidade 1 .....	36
4.4.2 Análise de Sensibilidade 2 .....	42
4.4.3 Análise de Sensibilidade 3 .....	45
4.5 Discussão de Resultados .....	49
5. Referências.....	51

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da rede de atividades .....	p. 14
Figura 2 – Representação caixa da rede para o cálculo do caminho crítico.....	p. 27
Figura 3 – Rede PERT/CPM.....	p. 33
Figura 4 – Caminho crítico .....	p. 35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista dos tempos cronometrados nos testes.....	p. 20
Tabela 2 – Lista de Atividades do projeto e suas Atividades predecessoras.....	p. 21
Tabela 3 – Lista de Atividades de Apoio e suas respectivas predecessoras.....	p. 23
Tabela 4 – Resultados dos percentis obtidos no RStudio.....	p. 25
Tabela 5 – Resultados dos Tempos Esperados.....	p. 31
Tabela 6 – Tempos Esperados aumentado 5%, 15% e 30%.....	p. 37
Tabela 7 – Tempos Esperados diminuindo 5%, 15% e 30%.....	p. 38
Tabela 8 – Caminho crítico aumentando 5%.....	p. 39
Tabela 9 – Caminho crítico diminuindo 5%.....	p. 40
Tabela 10 – Resultados Análise 1.....	p. 40
Tabela 11 – Novos Tempos Esperados considerando os quantis Q2, Q10 e Q20, como sendo os Tempos Otimistas e Q98, Q90 e Q80, como sendo os Tempos Pessimistas.....	p. 43
Tabela 12 – Caminho críticos para os quantis 2% e 98%.....	p. 44
Tabela 13 – Resultados Análise 2.....	p. 44
Tabela 14 – Caminho crítico para aumento de 5% e 10% sobre as atividades do caminho crítico base.....	p. 46
Tabela 15 – Caminho crítico para diminuição de 5% e 10% sobre as atividades do caminho crítico base.....	p. 47
Tabela 16 – Resultados Análise 3.....	p. 48

## 1. Introdução

No setor da construção civil, a gestão de projetos se uma atividade crucial, dado que os prazos contratuais são rígidos e há múltiplas atividades acontecendo de forma simultânea. Além disso, o setor tem enfrentado desafios no recebimento de investimentos e no surgimento de novas tecnologias. Em 2023, por exemplo, o Produto Interno Bruto (PIB) da construção brasileira recuou 0,5%, contra uma expansão de 2,9% da economia nacional, refletindo restrições de financiamento e custos elevados de capital (CBIC, 2024). Paralelamente, análises globais mostram que grandes projetos de infraestrutura costumam exceder seus cronogramas em cerca de 20% e estourar o orçamento em até 80% (MCKINSEY e COMPANY, 2016). Diante desse cenário de pressão por eficiência, muitas empresas reduzem custos indiretos, o que transfere ainda mais responsabilidade para os gerentes de projetos. Apesar do avanço das metodologias de gerenciamento, muitas construtoras ainda negligenciam práticas estruturadas de planejamento, resultando em atrasos, sobrecustos e comprometimento da qualidade das entregas (NORO, 2012).

A gestão eficiente de cronogramas em obras de grande e médio porte é um fator importante para garantir o cumprimento dos objetivos do projeto. A complexidade desses empreendimentos exige não apenas o cumprimento de prazos, mas também o controle de custos, a qualidade da execução e a alocação adequada de recursos, tanto humanos quanto materiais. Falhas nesse processo são comuns e podem decorrer tanto da ausência de um planejamento técnico estruturado quanto da dificuldade em monitorar e reagir a imprevistos durante a obra (SANTOS, 2018).

Apesar da relevância da gestão de cronogramas na construção civil, observa-se uma lacuna na aplicação dessas metodologias aplicadas especificamente às reformas e revitalizações de fachadas de prédios urbanos. A maioria dos estudos concentra-se em construções novas ou projetos industriais, enquanto as particularidades dos projetos de intervenção em edificações existentes — como restrições de acesso, variações climáticas e convivência com usuários — ainda são pouco exploradas (VERGARA; TEIXEIRA; YAMANARI, 2017; ALMEIDA; VOLSKI, 2022). Além disso, estes tipos de projetos representam parcela crescente nos contratos de manutenção predial e retrofit, exigindo soluções específicas para lidar com as limitações operacionais.

A construção civil lida frequentemente com incertezas e variabilidades, tanto em relação à duração das tarefas quanto aos recursos exigidos. A utilização de modelos de cronograma baseados em estimativas puramente determinísticas, ignorando os reais riscos dos processos,

tem sido uma causa primordial de atrasos e aumento de custos. A falta de um planejamento sólido para atividades críticas compromete não apenas os prazos contratuais, mas também a confiabilidade da entrega final (VIEIRA, 2011).

A reforma de fachadas em edificações corporativas apresenta uma série de desafios técnicos e operacionais, em especial quando se trata de construções antigas que já ultrapassaram sua vida útil de projeto ou que passaram por longos períodos sem manutenção preventiva. A deterioração precoce de elementos de fachada pode acarretar custos elevados, tanto diretos quanto indiretos, e representar riscos significativos à segurança, devido ao potencial de desprendimento de materiais sobre áreas públicas. Essas intervenções se tornam ainda mais críticas quando ocorrem em estruturas de grande porte ou com acesso limitado, exigindo técnicas especializadas, mão de obra qualificada e o cumprimento rigoroso de normas de segurança e controle de impacto ao entorno. (HELENE, 2008)

Além dos aspectos técnicos, reformas de fachada enfrentam desafios ligados à fragmentação do processo construtivo e à falta de integração entre os agentes envolvidos. A prática brasileira ainda adota modelos sequenciais de projeto e obra, o que contribui para falhas de comunicação, sobreposição de atividades e retrabalho. Esse cenário compromete a eficiência do planejamento e da execução, principalmente em reformas realizadas com o edifício em funcionamento. Em contraste, modelos mais integrados, como o francês, promovem maior colaboração entre projetistas, fornecedores e executores desde as fases iniciais, contribuindo para a qualidade final da intervenção e redução de prazos. (OLIVEIRA et al. 2008)

A ausência de planejamento estruturado, especialmente no que tange às atividades críticas e ao uso de tecnologias de apoio à gestão, compromete o monitoramento do progresso do projeto, dificultando a tomada de decisão em situações emergenciais e aumentando o risco de descumprimento contratual. Não obter um alinhamento adequado entre cronograma, métodos e acompanhamento das atividades impacta diretamente nos prazos e custos do projeto (KARABULUT, 2017).

Nesse contexto, a gestão de cronogramas adquire contornos ainda mais desafiadores em projetos de revitalização de fachadas, dada sua natureza técnica e operacional. Por se tratar de intervenções externas realizadas, muitas vezes, em edifícios ocupados, essas obras estão sujeitas a restrições de acesso, variações climáticas e impactos na rotina dos usuários. Conforme destacado por Vergara, Teixeira e Yamanari (2017), a ausência de uma estrutura lógica bem definida entre as atividades e a falta de previsão de cenários alternativos comprometem a confiabilidade do cronograma e dificultam a tomada de decisão.

Entre as metodologias utilizadas na gestão de projetos, destacam-se abordagens ágeis como o Scrum e o Kanban, aplicadas com sucesso em setores como tecnologia da informação e desenvolvimento de produtos. Entretanto, essas metodologias apresentam limitações quando transpostas para o setor da construção civil, especialmente em projetos que envolvem forte interdependência entre atividades e necessidade de controle rigoroso sobre prazos. Tais abordagens não permitem a identificação precisa de atividades críticas nem o cálculo de folgas, aspectos fundamentais para o planejamento eficaz de obras com restrições operacionais e contratuais rigorosas (KARABULUT, 2017; BARBOZA, 2017).

Assim, métodos como o PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) e o CPM (*Critical Path Method*) tornam-se especialmente úteis para mapear atividades críticas, calcular folgas e reprogramar ações diante de imprevistos. Quando complementados por análises de sensibilidade baseadas em cenários determinísticos (por exemplo, variações de  $\pm 10\%$  nas durações), esses métodos ampliam a capacidade de previsão e controle, conforme demonstrado por Barboza (2017) e Vieira (2011).

Diante desse cenário, é importante implementar ferramentas que possibilitem uma representação precisa das atividades do projeto, a identificação de possíveis gargalos operacionais e a previsão dos efeitos de eventuais atrasos. A aplicação de PERT e CPM facilita a modelagem lógica do cronograma, a visualização das interdependências entre tarefas e a identificação das etapas que exigem maior atenção, ou seja, aquelas que compõem o caminho crítico (SANTOS, 2018).

Além de organizarem o fluxo de atividades, essas ferramentas viabilizam o planejamento de alternativas e a análise de cenários, contribuindo para decisões mais estratégicas frente a incertezas e limitações operacionais. Isso é relevante no setor de reformas e revitalizações, onde prazos e orçamentos costumam ser rígidos. A abordagem sistêmica proporcionada por PERT e CPM reforça o controle sobre o projeto, permitindo acompanhar o progresso de forma mais precisa, reavaliar prazos de execução e promover ajustes com base em projeções de cenários fundamentadas, conforme demonstram experiências consolidadas na literatura (SANTOS, 2018; VIEIRA, 2011).

Diante disso, este trabalho busca responder à seguinte questão de pesquisa:

“Como o uso combinado das metodologias PERT/CPM e da análise de sensibilidade pode contribuir para a identificação do caminho crítico e o aumento da confiabilidade no cronograma de obras de revitalização de fachada?”

Dessa forma, objetivo geral deste trabalho é avaliar a confiabilidade do cronograma de revitalização da fachada do edifício-sede de uma empresa do setor petrolífero, por meio da implementação das metodologias PERT/CPM para determinar a provável duração total do projeto, avaliando os impactos das incertezas nas estimativas temporais.

Para alcançar esse objetivo geral, este trabalho estabelece os seguintes objetivos específicos:

- 1) Estruturar o cronograma do projeto, identificando e organizando as atividades previstas no escopo de revitalização da fachada, com base nas estimativas de duração otimizadas, considerando cenários otimista, mais provável e pessimista;
- 2) Determinar o caminho crítico e identificar as atividades que representam potenciais gargalos ou restrições;
- 3) Analisar, por meio de simulações probabilísticas, a sensibilidade do cronograma em função da variabilidade dos tempos das atividades.

Espera-se, com isso, demonstrar como a aplicação integrada das técnicas PERT/CPM pode ser uma aliada na redução de incertezas e no aumento da confiabilidade de projetos de engenharia civil.

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos: o Capítulo 1 apresentou a introdução, contextualizando o problema e definindo os objetivos; o Capítulo 2 revisa os principais fundamentos teóricos relacionados à gestão de projetos, com ênfase em PERT, CPM; o Capítulo 3 descreve a metodologia do estudo de caso aplicado; o Capítulo 4 apresenta e analisa os resultados obtidos; e o Capítulo 5 traz as conclusões e recomendações para pesquisas futuras.

## 2. Referencial Teórico

A gestão eficiente de projetos na construção civil demanda o domínio de metodologias capazes de lidar com a complexidade, os riscos e as incertezas que caracterizam esse setor. Projetos de revitalização de fachadas, em particular, impõem desafios adicionais devido à sua natureza técnica e operacional, exigindo planejamento detalhado e controle rigoroso de prazos e recursos. Diante disso, a seleção de ferramentas adequadas para o gerenciamento do cronograma torna-se um fator crítico para o sucesso do empreendimento.

Este capítulo apresenta os principais conceitos, técnicas e abordagens que fundamentam o estudo, com ênfase nas metodologias PERT e CPM, amplamente utilizadas no planejamento e controle de cronogramas em projetos de engenharia. Inicialmente, discute-se o conceito de gestão de projetos e suas particularidades no contexto da construção civil. Em seguida, são detalhadas as características e a aplicação da rede PERT/CPM, bem como os procedimentos necessários para sua construção e a identificação do caminho crítico.

Além disso, explora-se a análise de riscos e incertezas em cronogramas e a aplicação da simulação de Monte Carlo como ferramenta complementar para ampliar a robustez do planejamento. Por fim, discute-se o uso de ferramentas computacionais, como o *MS Project* (MICROSOFT CORPORATION, 2021), que permitem operacionalizar as metodologias abordadas e apoiar a tomada de decisão ao longo da execução do projeto.

### 2.1 Gestão de Projetos

A gestão de projetos consiste na aplicação sistemática de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades de um empreendimento, com o propósito de atender aos requisitos acordados e gerar valor para os stakeholders. Segundo o PMBOK® Guide (PMI, 2021), cabe ao gestor de projetos equilibrar de forma integrada o escopo, o cronograma e o orçamento — conhecido como triângulo de ferro —, monitorando continuamente o desempenho e aplicando ciclos de revisão sempre que novos riscos ou oportunidades emergirem.

Nos ambientes complexos da construção civil, caracterizados por múltiplas frentes de trabalho, incertezas climáticas e exigências contratuais rígidas, essa abordagem estruturada torna-se ainda mais crítica. Sua aplicação permite antecipar atrasos, replanejar atividades de forma ágil e assegurar a entrega dos empreendimentos dentro dos parâmetros de prazo, custo e qualidade. Segundo o Project Management Institute (PMI, 2021), o gerenciamento do

cronograma só alcança resultados consistentes quando as durações são obtidas a partir de dados históricos confiáveis e validadas com ferramentas analíticas adequadas, garantindo que os caminhos críticos reflitam, de fato, as restrições lógicas do projeto

## **2.2 Rede PERT/CPM**

O gerenciamento de projetos em diversos setores da engenharia e da indústria requer metodologias robustas para o planejamento, controle e execução eficiente das atividades. Dentre as principais técnicas voltadas à gestão de cronogramas, destacam-se o PERT (Program Evaluation and Review Technique) e o CPM (Critical Path Method), reconhecidos por sua aplicabilidade em projetos de distintas naturezas e escalas — desde obras civis e empreendimentos industriais até programas de pesquisa e desenvolvimento e intervenções logísticas (VERGARA et al., 2017; BARBOZA, 2017; ALMEIDA; VOLSKI, 2021).

O método PERT foi originalmente desenvolvido para projetos que apresentam elevada incerteza, como aqueles ligados à pesquisa e desenvolvimento. inicialmente criada com foco em projetos da Marinha dos Estados Unidos para programar atividades de pesquisa e desenvolvimento de um programa, sua principal característica é a utilização de três estimativas de duração para cada atividade (otimista, mais provável e pessimista), possibilitando o cálculo da duração esperada do projeto a partir de uma média ponderada. Dessa forma, o PERT permite incorporar a variabilidade inerente aos processos e gerar uma análise probabilística dos prazos, tornando-se especialmente relevante em cenários onde os tempos das tarefas não são plenamente conhecidos (VERGARA et al., 2017).

Já a abordagem CPM, criado inicialmente para o setor de construção e manutenção industrial, parte de estimativas determinísticas de tempo, sendo indicado para situações em que as durações das atividades podem ser previstas com maior grau de certeza. O grande diferencial do CPM é a identificação do caminho crítico, ou seja, a sequência de atividades que define a duração mínima do projeto. A gestão rigorosa desse caminho é crucial, uma vez que atrasos nas tarefas críticas implicam, necessariamente, em atraso na entrega final da obra (SANTOS, 2018; VOLSKI, 2021).

A partir da combinação dessas duas ferramentas, o PERT/CPM resulta em um modelo robusto e adaptável à realidade das obras civis, integrando a análise probabilística com precisão determinística. Alguns dos benefícios destacados sobre a ferramenta são a identificação de atividades críticas e gargalos, determinação de folgas entre tarefas auxiliando na gestão de prazos, auxílio na criação de indicadores para a análise de desempenho, melhor monitoramento

do cronograma e permitir a análise em diferentes cenários Além disso, diversos estudos demonstram sua aplicabilidade no setor de obras reais de pequeno e médio porte, em ambos os casos, a metodologia mostrou-se eficaz na previsão de prazos, alocação de recursos e antecipação de riscos (LIMA e BEZERRA, 2021; VERGARA et al., 2017).

A utilização dessas metodologias potencializa a alocação eficiente de recursos, a antecipação de riscos e a comunicação entre as equipes envolvidas no projeto, aspectos que se refletem diretamente na redução de custos, desperdícios e retrabalhos em obras civis (VOLSKI, 2021).

### **2.3 Construção da Rede PERT/CPM**

Para a utilização do método PERT/CPM é necessário a construção da rede, que consiste em organizar as atividades que compõem um processo, analisando as suas interdependências e a duração dos tempos das atividades. Essa rede permite a visualização da sequência lógica das etapas auxiliando, futuramente, na identificação dos gargalos. Dessa forma, deve ser realizado um estudo para entender todas as etapas do projeto e obter todos os dados necessários (RAVAGNANI, 2017, apud ALMEIDA; VOLSKI, 2021).

O ponto de partida para a elaboração da rede se dá pelo levantamento das atividades que compõem o projeto, entendendo as relações de precedência, ou seja, a ordem e as condições necessárias para que cada etapa seja iniciada e concluída. Uma ferramenta muito utilizada é a construção da tabela de precedência que reúne o nome das atividades, sua descrição, predecessoras e estimativas de duração. Essa organização é importante para auxiliar durante a execução do projeto fornecendo uma visão geral e uma melhor identificação da cronologia das atividades, otimizando o uso de recursos e tempo de execução (BARRA et al., 2013).

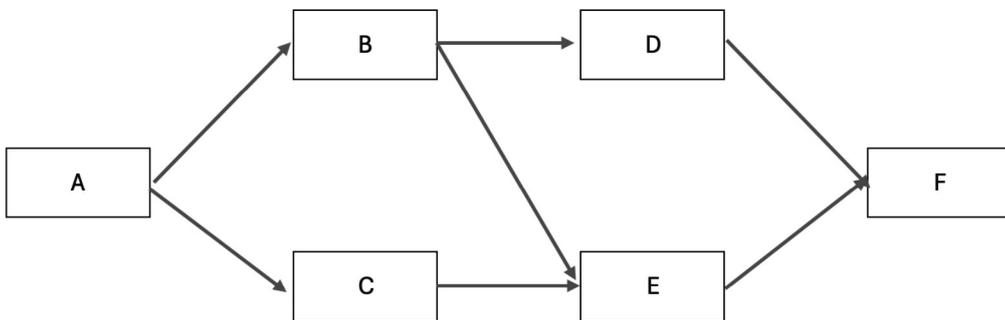
A partir desse estudo, é realizada a construção da Rede PERT/CPM. Este grafo está composto por atividades, que são representadas por setas, indicando o consumo de tempo e recursos, enquanto os eventos indicam o início de uma nova atividade e o fim da anterior, são representados por nós, como pode ser visto na Figura 1. Cada etapa deve estar claramente definida e conectada a outra por meio de uma lógica de interdependência obtida a partir do estudo feito sobre o projeto, gerando uma rede coerente e bem estruturada (LAUGENI; MARTINS, 2005, apud BARRA et al., 2013).

Para a correta realização da rede, é necessário seguir algumas regras (ALMEIDA; VOLSKI, 2021):

- 1) Cada atividade deve iniciar em um evento e terminar em outro;

- 2) Não pode haver ciclos. A rede deve seguir um ciclo unidirecional do início ao fim;
- 3) Atividades que compartilham o mesmo início e fim devem ser diferenciadas por atividades fictícias, que possuem duração zero e servem para estruturar corretamente a rede;
- 4) Todas as atividades devem estar ligadas logicamente, não podendo excitar atividades “soltas”.

**Figura 1** – Representação rede de atividades



**Fonte:** Autoria própria.

Para a aplicação da metodologia PERT/CPM é necessário estimar a duração dos tempos otimista ( $T_o$ ), mais provável ( $T_{mp}$ ) e pessimista ( $T_p$ ) das atividades que compõem a rede. Esses tempos foram definidos a partir dos dados obtidos na coleta empírica, porém, em situações em que não há base histórica suficiente para determinar diretamente os extremos ( $T_o$  e  $T_p$ ), é possível utilizar distribuições estatísticas para estimá-los.

Com os valores de  $T_o$ ,  $T_{mp}$  e  $T_p$  definidos, a análise PERT permite o cálculo do tempo esperado ( $TE$ ) de cada atividade, por meio da média ponderada:

$$TE = \frac{T_o + 4T_{mp} + T_p}{6} \quad (1)$$

Esse tempo esperado é utilizado como base para o cálculo da duração total do projeto e identificação do caminho crítico, integrando as incertezas à lógica do cronograma.

A construção da Rede PERT/CPM, aliada a essa abordagem de estimativa, proporciona uma visualização clara e sistemática da sequência de atividades de um projeto, apresentando

diversos benefícios estratégicos. Em projetos de pequeno e médio porte, essa organização contribui diretamente para a redução de atrasos, retrabalhos e desperdícios (ALMEIDA; VOLSKI, 2021). Além disso, quando utilizada em conjunto com ferramentas como o MS Project (MICROSOFT CORPORATION, 2021), é possível alimentar a rede com dados reais, acompanhar o progresso das tarefas, atualizar e simular cenários alternativos, permitindo a otimização do cronograma (BARRA et al., 2013). Assim, a construção da rede não apenas facilita o planejamento, como também se torna um recurso estratégico para o controle eficaz do tempo ao longo da execução do projeto.

#### 2.4 Critical Path Method (CPM) ou Caminho Crítico

Após a montagem da rede PERT/CPM, é necessária a identificação do caminho crítico, definido como a sequência de atividades que determinam a duração total do projeto. Ou seja, corresponde ao percurso que vai do início ao fim da rede que tem maior duração e qualquer atraso irá impactar diretamente na data de entrega final (TUBINO, 2005).

A identificação do caminho crítico é de extrema importância, para que o gerente do projeto tenha ciência de quais são as atividades críticas que precisam de maior atenção e estratégia a serem realizadas e não ultrapassem os recursos e prazos estipulados. O tempo ‘cedo’ representa o momento mais adiantado em que uma atividade pode começar. Já o tempo ‘tarde’ mostra o último momento em que uma atividade pode começar sem atrasar o projeto (TUBINO, 2000).

Na determinação precisa do caminho crítico, são aplicados cálculos baseados nas datas mais cedo e mais tarde de início e término das atividades da rede. Esses valores podem ser obtidos por meio de algoritmos implementados em softwares como o *MS Project* (MICROSOFT CORPORATION, 2021), que automatizam o processo e destacam visualmente as tarefas críticas. As fórmulas utilizadas são:

- **Data de Início mais Cedo (DCI):** é o maior valor de DCT (Data mais Cedo de Término) entre todas as atividades predecessoras da tarefa em questão.

$$DIC_i = \max(DCT \text{ das predecessoras}) \quad (2)$$

- **Data mais Cedo de Término (DCT):** corresponde à DIC da atividade somada à sua duração estimada.

$$DCT_i = DIC_i + duração_i \quad (3)$$

- **Data mais Tarde de Término (DTT):** é o menor valor de DTI (Data mais Tarde de Início) entre todas as sucessoras.

$$DTT_i = \min(DTI \text{ das sucessoras}) \quad (4)$$

- **Data mais Tarde de Início (DTI):** obtida subtraindo a duração da atividade a partir da sua DTT.

$$DIC_i = DTT_i - duração_i \quad (5)$$

Com base nesses dados, são calculadas as folgas, que indicam a margem de atraso admissível para cada tarefa sem comprometer o prazo total do projeto:

- **Folga Total (FT):** diferença entre a Data mais Tarde de Início e a Data mais Cedo de Início da atividade. As atividades que têm  $FT = 0$  são ou próximos de zero são as atividades do caminho crítico.

$$FT_i = DTT_i - DCT_i \text{ ou } FT_i = DIT_i - DIC_i \quad (6)$$

A análise do caminho crítico por meio do PERT/CPM é importante para a tomada de decisão ao longo da execução. Essa metodologia permite prever atrasos, identificar gargalos e priorizar ações corretivas. Em projetos de construção civil, o caminho crítico destaca as etapas que mais influenciam o prazo final, exigindo execução rigorosa, contribuindo para minimizar riscos e garantir a entrega dentro dos parâmetros contratuais (BARRA et al., 2013).

## 2.5 Análise de Sensibilidade e Incertezas em Cronogramas

A gestão de projetos de construção civil está fortemente exposta a incertezas, sejam decorrentes de fatores climáticos, variações na disponibilidade de recursos, restrições logísticas ou mudanças de escopo. Esses elementos, quando não devidamente considerados no planejamento, aumentam significativamente o risco de atrasos, elevação de custos e retrabalho ao longo da execução do projeto (VERGARA et al., 2017; BARBOZA, 2017).

No contexto da metodologia PERT/CPM, a análise de riscos do cronograma é potencializada pela possibilidade de avaliar diferentes cenários de duração das atividades,

principalmente quando se adota a abordagem probabilística do PERT, com estimativas otimista, mais provável e pessimista (VERGARA et al., 2017). Barboza (2017) reforça que a gestão ativa do risco deve integrar o processo de acompanhamento do cronograma, permitindo ao gestor atuar preventivamente diante da identificação de eventos que possam comprometer os prazos.

A literatura recomenda que a análise de riscos seja incorporada ao monitoramento contínuo das obras, de modo a possibilitar ajustes rápidos no planejamento e a adoção de estratégias de mitigação sempre que necessário. Essa postura proativa diferencia projetos bem-sucedidos daqueles que, ao reagirem tardiamente a imprevistos, acabam comprometendo os resultados (BARBOZA, 2017; VERGARA et al., 2017).

### **3. Metodologia**

Este capítulo detalha, de forma extensiva, o percurso metodológico adotado para modelar, estimar e analisar o cronograma da obra de revitalização da fachada do edifício-sede de uma companhia nacional do setor de óleo e gás. O procedimento foi estruturado em quatro macro-etapas interdependentes:

- 1) Caracterização do empreendimento e das particularidades construtivas que influenciam o planejamento temporal;
- 2) Coleta e tratamento dos dados técnicos e operacionais relevantes à elaboração das distribuições de duração;
- 3) Modelagem do cronograma segundo as metodologias PERT/CPM, contemplando três configurações estatísticas (Normal, Exponencial e Mista) implementadas no *Microsoft Project* (versão 2021);
- 4) Estabelecimento de critérios para a elaboração da análise de sensibilidade, que no Capítulo 4 testarão a robustez do caminho crítico face à variação controlada das durações das atividades.

#### **3.1 Descrição do Projeto**

A obra em questão corresponde à primeira grande reforma da fachada do edifício-sede de uma companhia nacional do setor de óleo e gás, com mais de 50 anos desde sua inauguração. O projeto abrange intervenções nos brises, nos painéis de vidro, e em elementos estruturais e estéticos do prédio.

A arquitetura singular do edifício inclui jardins abertos em alguns andares, que permitem a circulação dos funcionários e criam recortes na estrutura. Nessas áreas os vidros externos formam recuos que condicionam a execução de serviços em altura e com acesso limitado. As quatro fachadas são nomeadas conforme os pontos cardeais, sendo que as faces Norte e Sul têm características distintas: a Norte com brises horizontais, e a Sul sem brises, mas com escada de segurança externa. As fachadas Leste e Oeste são idênticas, com brises verticais.

O principal indicador de desempenho (KPI) estipulado pela diretoria é a data de entrega. Portanto, a modelagem do cronograma tem como foco a redução da duração total da obra sem comprometer a qualidade e a segurança. Estudos preliminares da empresa identificaram que as

atividades de remoção e instalação de vidros, bem como a montagem e os ajustes dos brises, compõem o caminho crítico. Essas atividades são condicionadas por:

- 1) Elevada exigência técnica (precisão milimétrica de assentamento);
- 2) Dependência de frente de serviço dedicada, já que tais tarefas condicionam o avanço dos demais sistemas de fachada;
- 3) Tempo de execução proporcionalmente elevado por unidade, o que torna seu desempenho determinante para o caminho crítico.

Diante disso, o planejamento tradicional, baseado apenas no diagrama de Gantt determinístico, mostrou-se insuficiente para prever atrasos potenciais e testar estratégias de mitigação. Optou-se, então, por modelar o cronograma segundo a metodologia PERT/CPM através do software *MS Project* (MICROSOFT CORPORATION, 2021) com três cenários, pois a metodologia possibilita mapear dependências rigidamente lógicas e identificar o caminho crítico que efetivamente governa o prazo global (SANTOS, 2018; ALMEIDA e VOLSKI, 2021).

## **3.2 Coleta de Dados**

A confiabilidade das estimativas de duração depende da qualidade das informações levantadas. Assim, adotou-se uma estratégia de triangulação, combinando evidências de campo, bases setoriais e registros da própria empresa. O processo foi conduzido em três fases complementares: *(i)* levantamento in loco e entrevistas; *(ii)* consolidação de dados secundários pertinentes; *(iii)* testes práticos e cronometragens para calibração dos tempos médios. Os procedimentos utilizados encontram-se descritos na subseção 3.2.1; na sequência, os dados alimentam o mapeamento das atividades (3.2.2) e as estimativas de duração (3.2.3).

### **3.2.1 Fontes de Informação**

A Coleta de dados foi realizada para a obtenção de informações precisas e detalhadas sobre o processo de revitalização da fachada do edifício sede. Para isso, foram utilizadas diversas fontes de informação, como:

- **Entrevistas semiestruturadas** com o gerente de obras, o engenheiro responsável pelo projeto de fachada e o fornecedor de brises, objetivando capturar o fluxo de trabalho, restrições de acesso e logística de montagem;
- **Índices SINAPI** (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) para durações de referência em atividades padronizadas, quando compatíveis com a escala e a tecnologia empregada;
- **Cronometragem direta** em testes simulados de desmontagem/montagem de vidros e brises;
- **Revisão documental da empresa contratada**, contendo especificações técnicas, registros históricos de obras anteriores com escopos semelhantes.

Essas informações foram registradas e consolidadas em um banco de dados no *Excel*.

Durante a realização deste estudo a obra foi iniciada e, com isso, houve a possibilidade de realizarmos alguns testes os quais foram cronometrados. Foram realizados 6 testes simulados com equipes de 5 profissionais que realizaram a remoção de módulos vidros do prédio para sabermos quanto tempo levaria para essa tarefa. A partir desses dados foi obtida a sua média.

De forma análoga, procedeu-se para a instalação dos vidros, onde foram utilizados vídeos do processo, sem cortes, para realizar a cronometragem. O motivo da escolha por esse método e não a utilização de índices foi porque eles estavam dando valores superdimensionados, gerando valores distantes à realidade, acarretando alterações significativas dos resultados obtidos.

**Tabela 1** – Lista dos tempos cronometrados nos testes

CRONOMETRAGEM[SEG]	
TESTE1	53,5
TESTE 2	35,5
TESTE3	48,3
TESTE4	46,82
TESTE5	33,6
TESTE6	55,9
MÉDIA=	45

**Fonte:** Autoria própria.

### 3.2.2 Identificação e Sequenciamento das atividades

Inicialmente, foram realizadas reuniões com o responsável pelo projeto, onde foram esclarecidas as etapas do processo de revitalização, as atividades predecessoras, ou seja, as dependências entre elas, e os materiais relevantes para entender o fluxo de trabalho. Durante essas reuniões, foi possível mapear as diferentes fases da obra e suas inter-relações; além da quantidade de equipes que estariam dispostas em cada etapa.

As atividades principais do projeto foram numeradas de 1 até 18, conforme apresentado na Tabela 2, que contém a lista com a codificação e a descrição das ações fundamentais previstas no escopo da revitalização do edifício-sede.

**Tabela 2** – Lista de Atividades do projeto e suas Atividades predecessoras

Atividade	Descrição da atividade	Precedência
1	Bandejão	
2	Linha de Vida	
3	Instalar Cremalheira	
4	Desmontar vidro Jardins	2
5	Desmontar vidro 23° e 24° PAV	2
6	Reparar Fachada Jardins	R4;5
7	Reparar Fachada 23°+24°	R4;5
8	Instalar Vidro Jardins	R6;7
9	Instalar Vidro 23° e 24°	R6;7
10	Desmontagem Vidro Terro, 1° e 2° PAV	R8;9
11	Reparar Fachada Terreo, 1° e 2° PAV	R10
12	Instalar Vidro Terreo, 1° e 2° PAV	R11
13	Desmontagem Vidro Externo	1;2;3
14	Desontagem Brise	R13
15	Aferir Prumo	R14
16	Reparar Fachada Externa	15
17	Instalar Vidro Externo	R16
18	Instalar Brise	R17

**Fonte:** Autoria própria.

No projeto existem atividades que são passives de serem executadas diversas vezes sobre diferentes atividades, necessitando serem diferenciadas. Para representar essas operações que serão realizadas sobre as atividades principais, identificamos cada uma pela inicial do seu nome seguida do número correspondente à atividade sobre a qual o serviço será executado, possibilitando maior facilidade de visualização, sendo que os números ordinais especificam as atividades principais e se encontram dentro do conjunto  $j = \{1,2,3, \dots, 18\}$ , obteve-se a seguinte estrutura:

- **Ij:** A atividade “*Inspeção*” (I) será realizada sobre a atividade principal “j”. Ela será realizada logo após sua execução, com o objetivo de avaliar sua conformidade técnica;

- **Aj:** A atividade “**Ajuste**” (**A**) será realizada sobre a atividade principal “**j**”, caso na atividade de inspeção seja identificada a necessidade de correções ou retrabalho;
- **Rj:** A Atividade “**Reinspeção**” (**R**) será realizada sobre a atividade de ajuste da atividade principal “**j**”, quando o houver.

Convém esclarecer que as atividades de Inspeção (I), Ajuste (A) e Reinspeção (R) podem abranger mais de uma tarefa principal de forma simultânea. Para tornar esse vínculo explícito sem duplicar linhas na planilha ou na rede de precedência, adotou-se a seguinte convenção de codificação: mantém-se o prefixo I, A ou R e acrescentam-se, em sequência, os códigos das atividades principais afetadas, separados por ponto-e-vírgula. Assim, a notação “I4;5” indica uma única inspeção que deve ser realizada sobre as atividades principais 4 e 5. Esse artifício preserva a rastreabilidade de todas as dependências, evita redundância de registros e mantém o cronograma logicamente coerente para o cálculo do caminho crítico.

Essa estrutura hierárquica permitiu modelar as dependências lógicas entre execução, verificação e eventuais retrabalhos, mantendo a rastreabilidade e a coerência do cronograma. A Tabela 2 e 3 apresenta o relacionamento entre as atividades principais e suas respectivas inspeções, ajustes e reinspeções, que foram incluídas no sequenciamento de forma encadeada, considerando os impactos sobre o caminho crítico.

**Tabela 3** – Lista de Atividades de Apoio e suas respectivas predecessoras

<b>Atividade</b>	<b>Descrição da atividade</b>	<b>Precedência</b>
I4;5	Inspeção Desmontagem 23° + 24° + jardins	4;5
A4;5	Ajuste vidros internos (23° + 24° + jardins )	I4;5
R4;5	Reinspeção Desmontagem (23° + 24° + jardins )	A4;5
I6;7	Inspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	6;7
A6;7	Ajustar Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	I6;7
R6;7	Reinspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	A6;7
I8;9	Inspeção Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	8;9
A8;9	Ajustar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	I8;9
R8;9	Reinspecionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	A8;9
I10	Inspeção Desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	10
A10	Ajustar desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	I10
R10	Reinspecionar desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	A10
I11	Inspeção Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	11
A11	Ajustar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	I11
R11	Reinspecionar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	A11
I12	Inspeção Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	12
A12	Ajustar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	I12
R12	Reinspecionar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	A12
I13	Ajustar desmontagem vidro externo	13
A13	Inspeção Desmontagem Vidro Externo	I13
R13	Reinspecionar Desmontagem Vidro Externo	A13
I14	Inspeção Desmontagem do Brise	14
A14	Ajustar Desmontagem do Brise	I14
R14	Reinspecionar Desmontagem do Brise	A14
I16	Inspeção Reparo Fachada Externa	16
A16	Ajustar Reparo Fachada Externa	I16
R16	Reinspecionar Reparo Fachada Externa	A16
I17	Inspeção Instalação Vidro Externo	17
A17	Ajustar Instalação Vidro Externo	I17
R17	Inspeção Instalação Vidro Externo	A17
I18	Inspeção Instalação do Brise	18
A18	Ajustar instalação do Brise	I18
R18	Reinspecionar Instalação Brise	A18

**Fonte:** Autoria própria.

Além disso, foi estabelecido que, excetuando-se a atividade inicial e a final, todas as demais deveriam estar vinculadas a pelo menos uma predecessora e uma sucessora. Essa lógica garante a correta ordenação do fluxo de trabalho, uma vez que a execução de cada tarefa depende da conclusão da anterior e condiciona o início da posterior, assegurando a continuidade e a consistência do cronograma do projeto.

### 3.2.3 Estimativas de duração das atividades

Nesse estudo, ao tempo mais provável ( $T_{mp}$ ), foi estimado a partir das observações diretas. Além disso, foram testadas distribuições probabilísticas (como a Normal e a Exponencial) com média igual a  $T_{mp}$ . A partir da distribuição ajustada, foram extraídos:

- **Tempo Otimista ( $T_o$ ):** correspondente ao percentil 5% da distribuição;

□ **Tempo Pessimista ( $T_p$ )**: correspondente ao percentil 95% da distribuição.

Como visto no Capítulo anterior, o cálculo do Tempo Esperado ( $TE$ ) faz uso do tempo otimista ( $T_o$ ), mais provável ( $T_{mp}$ ) e pessimista ( $T_p$ ). A determinação dos tempos pessimista e otimista através dos quantis destas distribuições, permite assim estimar o Tempo Esperado ( $TE$ ), que será usado na rede PERT/CPM. Considerando que na:

- 1) Distribuição Normal: todas as tarefas são modeladas pela distribuição Normal  $N(\mu, \sigma^2)$ , apropriada a processos repetitivos.
- 2) Distribuição Exponencial: todas as tarefas são descritas pela distribuição Exponencial  $Exp(\lambda)$ , indicada para fenômenos com dispersão acentuada;
- 3) Combinação de distribuições: faz-se uso das distribuições anteriores, aplicando-se a distribuição Normal às atividades de baixa variabilidade e a Exponencial às de alta variabilidade do tempo de duração.

A combinação das distribuições foi motivada pela análise dos resultados obtidos nas demais distribuições, que evidenciaram a necessidade de atribuir para cada atividade a distribuição de probabilidade mais aderente aos seus tempos reais de execução. O critério adotado baseou-se na variabilidade dos tempos de duração que as tarefas poderiam demorar, buscando refletir com maior fidelidade a natureza de cada uma.

Nos casos da distribuição Normal, definiu-se  $\mu$  igual ao tempo mais provável ( $T_{mp}$ ) e  $\sigma$  igual a 10% de  $\mu$ , proporção empregada por Santos (2018) em estudos análogos. Para a distribuição Exponencial, o parâmetro de escala foi calculado como  $\lambda = 1/\mu$ .

Com a distribuição já atribuída, obtiveram-se os tempos Otimista ( $T_o$ ) e Pessimista ( $T_p$ ) através dos quantis (percentis) 5% e 95% da função de distribuição acumulada, respectivamente. O procedimento foi executado no RStudio (RSTUDIO TEAM, 2025) por meio das funções  $qnorm()$  e  $qexp()$ . Lembrando que, o tempo mais provável ( $T_{mp}$ ) correspondeu à média empírica das medições de campo. A partir disso, foram obtidos os tempos apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 – Resultados dos percentis obtidos no RStudio**

Atividade	Descrição da Atividade	Dist. Exponencial			Distr. Normal		Distr. Mista	
		Tempo Mais	Tempo Otimista	Tempo Pessimista	Tempo Otimista	Tempo Pessimista	Tempo Otimista	Tempo Pessimista
		Provável	(0,05)	(0,95)	(0,05)	(0,95)	(0,05)	(0,95)
1	Bandejão	61,50	3,14	183,49	46,33	76,67	46,33	76,67
2	Linha de Vida	20,00	1,03	59,91	15,07	24,93	15,07	24,93
3	Instalar Cremalheira	31,00	1,59	92,87	52,73	87,27	52,73	87,27
4	Desmontar vidro Jardins	2,10	0,11	6,29	1,58	2,62	1,58	2,62
5	Desmontar vidro 23° e 24° PAV	5,16	0,26	15,46	3,89	6,43	3,89	6,43
6	Reparar Fachada Jardins	70,00	3,59	209,70	52,73	87,27	3,59	209,70
7	Reparar Fachada 23°+24°	70,00	3,59	209,70	52,74	87,28	3,59	209,70
8	Instalar Vidro Jardins	8,00	0,41	23,97	6,03	9,97	6,03	9,97
9	Instalar Vidro 23° e 24°	10,40	0,53	31,16	7,83	12,97	7,83	12,97
10	Desmontagem Vidro Terro, 1° e 2° PAV	0,26	0,01	0,78	0,20	0,32	0,20	0,32
11	Reparar Fachada Terreo,1° e 2° PAV	70,00	3,59	209,70	52,73	87,27	3,59	209,70
12	Instalar Vidro Terreo,1° e 2° PAV	1,00	0,05	3,00	0,75	1,25	0,75	1,25
13	Desmontagem Vidro Externo	5,25	0,27	15,73	3,95	6,55	3,95	6,55
14	Desontagem Brise	11,20	0,57	33,55	8,44	13,96	8,44	13,96
15	Aferir Prumo	12,00	0,62	35,95	9,04	14,96	9,04	14,96
16	Reparar Fachada Externa	144,00	7,39	431,39	108,47	179,53	7,39	431,39
17	Instalar Vidro Externo	19,82	1,02	59,38	14,93	24,71	14,93	24,71
18	Instalar Brise	12,50	0,64	37,45	9,42	15,58	9,42	15,58

Atividade	Descrição da Atividade	Dist. Exponencial			Distr. Normal		Distr. Mista	
		Tempo Mais	Tempo Otimista	Tempo Pessimista	Tempo Otimista	Tempo Pessimista	Tempo Otimista	Tempo Pessimista
		Provável	(0,05)	(0,95)	(0,05)	(0,95)	(0,05)	(0,95)
I4;5	Inspeção Desmontagem 23° + 24° + jardins	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
A4;5	Ajuste desmontagem vidros internos (23° + 24° + jardins )	0,36	0,02	1,08	0,27	0,45	0,02	1,08
R4;5	Reinspeção Desmontagem (23° + 24° + jardins )	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
I6;7	Inspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
A6;7	Ajustar Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	7,00	0,36	20,97	5,27	8,73	0,36	20,97
R6;7	Reinspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
I8;9	Inspeccionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
A8;9	Ajustar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,52	0,03	1,56	0,39	0,65	0,03	1,56
R8;9	Reinspeccionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
I10	Inspeccionar Desmontagem Terreo,1° e 2° PAV	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
A10	Ajustar desmontagem Terreo,1° e 2° PAV	0,15	0,01	0,45	0,11	0,19	0,01	0,45
R10	Reinspeccionar desmontagem Terreo,1° e 2° PAV	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
I11	Inspeccionar Reparo Terreo,1° e 2° PAV	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
A11	Ajustar Reparo Terreo,1° e 2° PAV	3,50	0,18	10,49	2,64	4,36	0,18	10,49
R11	Reinspeccionar Reparo Terreo,1° e 2° PAV	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
I12	Inspeccionar Instalação Terreo,1° e 2° PAV	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
A12	Ajustar Instalação Terreo,1° e 2° PAV	0,05	0	0,15	0,04	0,06	0	0,15
R12	Reinspeccionar Instalação Terreo,1° e 2° PAV	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
I13	Inspeccionar Desmontagem Vidro Externo	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
A13	Ajustar desmontagem vidro externo	0,26	0,01	0,78	0,2	0,32	0,01	0,78
R13	Reinspeccionar Desmonatgam Vidro Externo	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
I14	Inspeccionar Desmonatgem do Brise	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
A14	Ajustar Desmonatgem do Brise	0,56	0,03	1,68	0,42	0,7	0,03	1,68
R14	Reinspeccionar Desmonatgem do Brise	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
I16	Inspeccionar Reparo Fachada Externa	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
A16	Ajustar Reparo Fachada Externa	7,20	0,37	21,57	5,42	8,98	0,37	21,57
R16	Reinspeccionar Reparo Fachada Externa	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
I17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
A17	Ajustar Instalação Vidro Externo	0,99	0,05	2,97	0,75	1,23	0,05	2,97
R17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
I18	Inspeccionar Instalação do Brise	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50
A18	Ajustar instalação do Brise	0,63	0,03	1,89	0,47	0,79	0,03	1,89
R18	Reinspeccionar Instalação Brise	0,50	0,03	1,50	0,38	0,62	0,03	1,50

**Fonte:** Autoria própria

Seguindo a formulação clássica de PERT (PMI, 2021), o Tempo Esperado (*TE*) de cada atividade foi calculado. Desse modo, elaboraram-se três cronogramas-base (Normal, Exponencial e Misto) cada um contendo a duração total do projeto, as folgas livres e totais e o caminho crítico.

Esses cronogramas servirão de referência para as análises de sensibilidade apresentadas à frente. Em síntese: recalcularemos o caminho crítico utilizando quantis alternativos (2–98%, 10–90% e 20–80% para os Tempos Otimista e Pessimista); aplicaremos variações de  $\pm 5\%$  e  $\pm 10\%$  apenas sobre as atividades críticas, verificando se a cadeia crítica se mantém. A

consistência entre os resultados dessas variações será o principal indicador da robustez temporal do projeto.

### **3.3 Modelagem do Processo**

Com os dados de duração consolidados, o passo seguinte foi organizar as dezoito atividades principais em uma sequência lógica que refletisse as limitações técnicas e operacionais da obra. Para isso, aplicou-se um roteiro simples:

1. Hierarquização das tarefas em quatro macro-fases (Desmontagem, Tratamento, Instalação e Inspeções), garantindo que cada fase iniciasse apenas após a liberação da anterior.
2. Identificação de predecessoras e sucessoras segundo dependências básicas Finish-to-Start (FS); utilizou-se Start-to-Start (SS) apenas quando a equipe de campo confirmou segurança e viabilidade de sobreposição parcial.
3. Verificação de coerência da sequência junto ao engenheiro responsável, assegurando que não houvesse lacunas ou relações circulares.

Esse encadeamento lógico passou a servir de base para a construção do grafo de precedência. O mapeamento do processo foi realizado a partir dos dados obtidos nas entrevistas e observações constantes com o responsável pelo projeto. Através de perguntas e correções durante o processo, foi possível identificar as atividades e suas respectivas dependências, construindo uma visão detalhada do fluxo de trabalho.

### **3.4 Definição do Caminho Crítico**

Com os tempos esperados das atividades já calculados para os três cenários estatísticos (Normal, Exponencial e Misto), aplicou-se o procedimento PERT/CPM descrito na Seção 2.4 do referencial teórico. Toda a operação foi conduzida em planilha Excel®, onde a malha de precedências criada na etapa anterior foi reproduzida em estrutura de caixas (Figura 2). Assim, a cada mudança de distribuição os campos de “início mais cedo”, “término mais cedo”, “início mais tarde” e “término mais tarde” foram atualizados automaticamente pelo encadeamento de fórmulas, dispensando cálculos manuais.

Para cada cenário, identificou-se como caminho crítico a sequência de atividades cuja folga total permaneceu igual a zero, isto é, qualquer acréscimo à sua duração repercute diretamente na data de término do projeto. A análise foi conduzida separadamente para as três

distribuições, permitindo observar de que modo a variabilidade dos tempos influencia o comprimento do caminho crítico e o tamanho das folgas das tarefas não críticas. Os resultados consolidados—duração global, conjunto de atividades críticas e folgas médias—serão apresentados e discutidos no Capítulo 4, juntamente com as análises de sensibilidade que examinam a robustez desse cronograma.

Os valores foram organizados na rede conforme o modelo representado na Figura 3, que ilustra a estrutura das caixas utilizadas na representação gráfica do projeto e no cálculo do caminho crítico.

**Figura 2** – Representação caixa da rede para o cálculo do caminho crítico

Tempo de Início mais cedo	Duração da atividade	Tempo de Fim mais cedo
Atividade		
Tempo de início mais tarde	Folga	Tempo de fim mais tarde

**Fonte:** Autoria própria.

### 3.5 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade consiste em uma avaliação sobre os parâmetros de entrada e como a sua variabilidade impacta no resultado do estudo. Para isso, foram realizadas três abordagens distintas, cada uma voltada a um aspecto específico da incerteza dos dados de entrada. As abordagens foram aplicadas sobre a análise original, de forma independente entre si:

- i. **Análise 1:** Alteração dos parâmetros das distribuições Normal e Exponencial;
- ii. **Análise 2:** Alteração dos quantis utilizados;
- iii. **Análise 3:** Variação do tempo esperado das atividades do caminho crítico.

### 3.5.1 Análise de Sensibilidade 1

Nesta etapa, modificaram-se os parâmetros que controlam a variabilidade das distribuições utilizadas nas análises dos tempos de execução. Especificamente, foi ajustado o desvio padrão ( $\sigma$ ) na distribuição Normal e o parâmetro lambda ( $\lambda$ ) na distribuição Exponencial. O objetivo foi analisar como diferentes níveis de dispersão (maior ou menor variabilidade) afetam a duração total do projeto e a definição do caminho crítico. Variações nesses parâmetros simulam cenários mais conservadores ou otimistas quanto à previsibilidade das atividades. Desse modo, consideramos os percentuais  $PERC = \{5\%, 15\%, 30\%\}$  e variamos sobre os parâmetros da seguinte forma:

- Para a distribuição Normal:  $\sigma = \mu \cdot PERC$
- Para a distribuição exponencial:  $\lambda = \left(\frac{1}{\mu}\right) (1 \pm PERC)$

Em seguida, os tempos esperados foram recalculados. Esses novos valores foram inseridos na rede de atividades e os cálculos do caminho crítico refeitos, para que fosse possível comparar a nova data de término do projeto e verificar eventuais alterações no caminho crítico.

### 3.5.2 Análise de Sensibilidade 2

Foram testados diferentes quantis para representar os limites inferior e superior dos tempos otimistas e pessimistas, a fim de verificar como mudanças na percepção de incerteza afetam o resultado do cálculo do Tempo Estimado ( $TE$ ). Essa variação simula diferentes níveis de otimismo ou conservadorismo na previsão dos tempos de execução das atividades.

Os quantis inicialmente adotados foram o Q5 e o Q95, representando, respectivamente, os tempos otimistas e pessimistas das distribuições. A partir dessa base, foram realizados testes com diferentes pares de quantis; (Q1, Q99), (Q10, Q90) e (Q20, Q80); com o objetivo de analisar o comportamento dos tempos estimados sob diferentes níveis de incerteza.

Em seguida, assim como foi feito na análise 1, os tempos esperados foram recalculados. Esses novos valores foram inseridos na rede de atividades e os cálculos do caminho crítico refeitos, para que fosse possível comparar a nova data de término do projeto e verificar eventuais alterações no caminho crítico.

### 3.5.3 Análise de Sensibilidade 3

Alterações pontuais nos tempos das atividades críticas foram aplicadas para avaliar o quanto o cronograma é sensível a desvios em tarefas que compõem o caminho crítico. Essa análise é importante para identificar quais atividades, se alteradas, têm maior impacto no prazo final do projeto, fornecendo subsídios para uma gestão mais estratégica e preventiva, e analisar se o haveria alguma alteração no caminho crítico.

Dessa forma, foram aplicadas variações de  $\pm 5\%$  e  $\pm 15\%$  apenas sobre os tempos esperados das atividades críticas. Após a inserção dos novos valores na rede de atividades, os cálculos do caminho crítico foram refeitos, possibilitando a comparação da nova data de término do projeto e a verificação de possíveis alterações no caminho crítico.

Os resultados numéricos e interpretações de cada abordagem serão apresentados no Capítulo 4, permitindo avaliar em que medida o cronograma suporta oscilações paramétricas e desvios localizados antes de comprometer a data contratual de entrega.

## 4. Resultados

Apresenta-se, neste capítulo, a síntese dos resultados obtidos com a aplicação do procedimento descrito no Capítulo de Metodologia. A exposição está organizada de modo a espelhar, na mesma ordem, os três objetivos específicos estabelecidos na Introdução:

1. Determinação dos Tempos Esperados ( $TE$ ) de cada atividade, a partir dos valores otimista, mais provável e pessimista estimados na Seção 3.2.3 do Referencial teórico;
2. Estruturação da rede de precedência e identificação do respectivo caminho crítico, tomando como linha-de-base o cenário Misto;
3. Avaliação da robustez do cronograma mediante as três análises de sensibilidade programadas (variação de  $\sigma$  e  $\lambda$ , alteração de quantis e perturbação direta dos  $TE$  do caminho crítico).

Para preservar a continuidade lógica entre Metodologia e Resultados, nenhum cálculo é retomado aqui: toda a parte algébrica permanece restrita ao Capítulo 2. O que se apresentam, a seguir, são os valores consolidados, Tabelas, Figuras e interpretações necessários à tomada de decisão sobre prazo e sequência de execução.

A subseção 4.1 apresenta os tempos esperados obtidos nos diferentes cenários de distribuição (Normal, Exponencial e Misto). Em seguida, a subseção 4.2 detalha a rede de atividades, enquanto a subseção 4.3 expõe o caminho crítico identificado e suas respectivas implicações práticas para o planejamento. A subseção 4.4 reúne os resultados das análises de sensibilidade, realizadas a partir dos valores originais estimados. Por fim, a subseção 4.5 traz uma discussão sintética dos resultados, conectando os achados à viabilidade temporal do projeto.

Essa organização assegura que cada conjunto de resultados seja apresentado em seu devido contexto analítico, permitindo ao leitor compreender, de forma contínua e lógica, o encadeamento entre os dados levantados, a modelagem realizada e as inferências conclusivas acerca dos prazos do projeto.

### 4.1 Tempos Esperados

Os Tempos Esperados ( $TE$ ) de cada atividade, calculados segundo a equação de PERT apresentada na Seção 2.3, encontram-se consolidados na Tabela 5. Nessa Tabela, cada linha

corresponde a uma das dezoito atividades principais, seguida dos três cenários estatísticos considerados; Normal, Exponencial e Misto; de modo a permitir a comparação direta entre eles.

**Tabela 5 – Resultados dos Tempos Esperados**

Atividade	Descrição da Atividade	Tempo	Tempo	Tempo
		Esperado Exponencial	Esperado Normal	Esperado Misto
1	Bandejão	72,11	61,50	61,50
2	Linha de Vida	23,49	20,00	20,00
3	Instalar Cremalheira	36,41	44,00	44,00
4	Desmontar vidro Jardins	2,47	2,10	2,10
5	Desmontar vidro 23° e 24° PAV	6,06	5,16	5,16
6	Reparar Fachada Jardins	82,22	70,00	82,22
7	Reparar Fachada 23°+24°	82,22	70,00	82,22
8	Instalar Vidro Jardins	9,40	8,00	8,00
9	Instalar Vidro 23° e 24°	12,22	10,40	10,40
10	Desmontagem Vidro Terro, 1° e 2° PAV	0,31	0,26	0,26
11	Reparar Fachada Terreo, 1° e 2° PAV	82,22	70,00	82,22
12	Instalar Vidro Terreo, 1° e 2° PAV	1,18	1,00	1,00
13	Desmontagem Vidro Externo	6,17	5,25	5,25
14	Desontagem Brise	13,15	11,20	11,20
15	Aferir Prumo	14,10	12,00	12,00
16	Reparar Fachada Externa	169,13	144,00	169,13
17	Instalar Vidro Externo	23,28	19,82	19,82
18	Instalar Brise	14,68	12,50	12,50

Atividade	Descrição da Atividade	Tempo	Tempo	Tempo
		Esperado Exponencial	Esperado Normal	Esperado Misto
I4;5	Inspeção Desmontagem 23° + 24° + jardins	0,59	0,50	0,59
A4;5	Ajuste desmontagem vidros internos (23° + 24° + jardins )	0,42	0,36	0,42
R4;5	Reinspeção Desmontagem (23° + 24° + jardins )	0,59	0,50	0,59
I6;7	Inspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,59	0,50	0,59
A6;7	Ajustar Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	8,22	7,00	8,22
R6;7	Reinspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,59	0,50	0,59
I8;9	Inspeccionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,59	0,50	0,59
A8;9	Ajustar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,61	0,52	0,61
R8;9	Reinspeccionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,59	0,50	0,59
I10	Inspeccionar Desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	0,59	0,50	0,59
A10	Ajustar desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	0,18	0,15	0,18
R10	Reinspeccionar desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	0,59	0,50	0,59
I11	Inspeccionar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	0,59	0,50	0,59
A11	Ajustar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	4,11	3,50	4,11
R11	Reinspeccionar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	0,59	0,50	0,59
I12	Inspeccionar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	0,59	0,50	0,59
A12	Ajustar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	0,06	0,05	0,06
R12	Reinspeccionar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	0,59	0,50	0,59
I13	Inspeccionar Desmontagem Vidro Externo	0,59	0,50	0,59
A13	Ajustar desmontagem vidro externo	0,31	0,26	0,31
R13	Reinspeccionar Desmonatagem Vidro Externo	0,59	0,50	0,59
I14	Inspeccionar Desmonatgem do Brise	0,59	0,50	0,59
A14	Ajustar Desmonatgem do Brise	0,66	0,56	0,66
R14	Reinspeccionar Desmonatgem do Brise	0,59	0,50	0,59
I16	Inspeccionar Reparo Fachada Externa	0,59	0,50	0,59
A16	Ajustar Reparo Fachada Externa	8,46	7,20	8,46
R16	Reinspeccionar Reparo Fachada Externa	0,59	0,50	0,59
I17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	0,59	0,50	0,59
A17	Ajustar Instalação Vidro Externo	1,16	0,99	1,16
R17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	0,59	0,50	0,59
I18	Inspeccionar Instalação do Brise	0,59	0,50	0,59
A18	Ajustar instalação do Brise	0,74	0,63	0,74
R18	Reinspeccionar Instalação Brise	0,59	0,50	0,59

**Fonte:** Autoria própria.

Uma primeira leitura dos resultados evidencia que a distribuição Normal reproduz valores de *TE* ligeiramente inferiores se comparada com a distribuição Exponencial para a maioria das tarefas, o que reflete a menor dispersão inerente à distribuição Normal. Já a distribuição Exponencial, sensível à cauda longa de durações, concentra os maiores tempos esperados nas atividades de instalação de vidro (A07 e A14) e desmontagem de brises (A03 e A11), confirmando a classificação de “alta variabilidade” descrita na metodologia. Os tempos esperados Mistos apresentam valores intermediários, pois combina ambas as distribuições conforme o coeficiente de variação de cada tarefa.

Ainda que as diferenças individuais sejam modestas, a soma agregada dos *TE* impacta a duração global do projeto. Observa-se que a variação entre o menor e o maior total não ultrapassa uma semana de calendário, sinal de que o cronograma é relativamente insensível à escolha da distribuição — aspecto que será aprofundado nas análises de sensibilidade da Seção 4.3. Convém destacar, porém, que mesmo pequenas discrepâncias nas atividades críticas podem repercutir na data contratual de entrega, razão pela qual o caminho crítico será examinado em detalhe na próxima subseção.

Por fim, vale notar que as atividades de apoio — inspeções, ajustes e reinspeções — mantiveram *TE* praticamente inalterado entre os cenários, corroborando a hipótese de que sua variabilidade é baixa e, portanto, pouco interfere na duração total. Essa constatação reforça a importância de concentrar esforços de controle justamente nas tarefas que exibem maior dispersão de tempo.

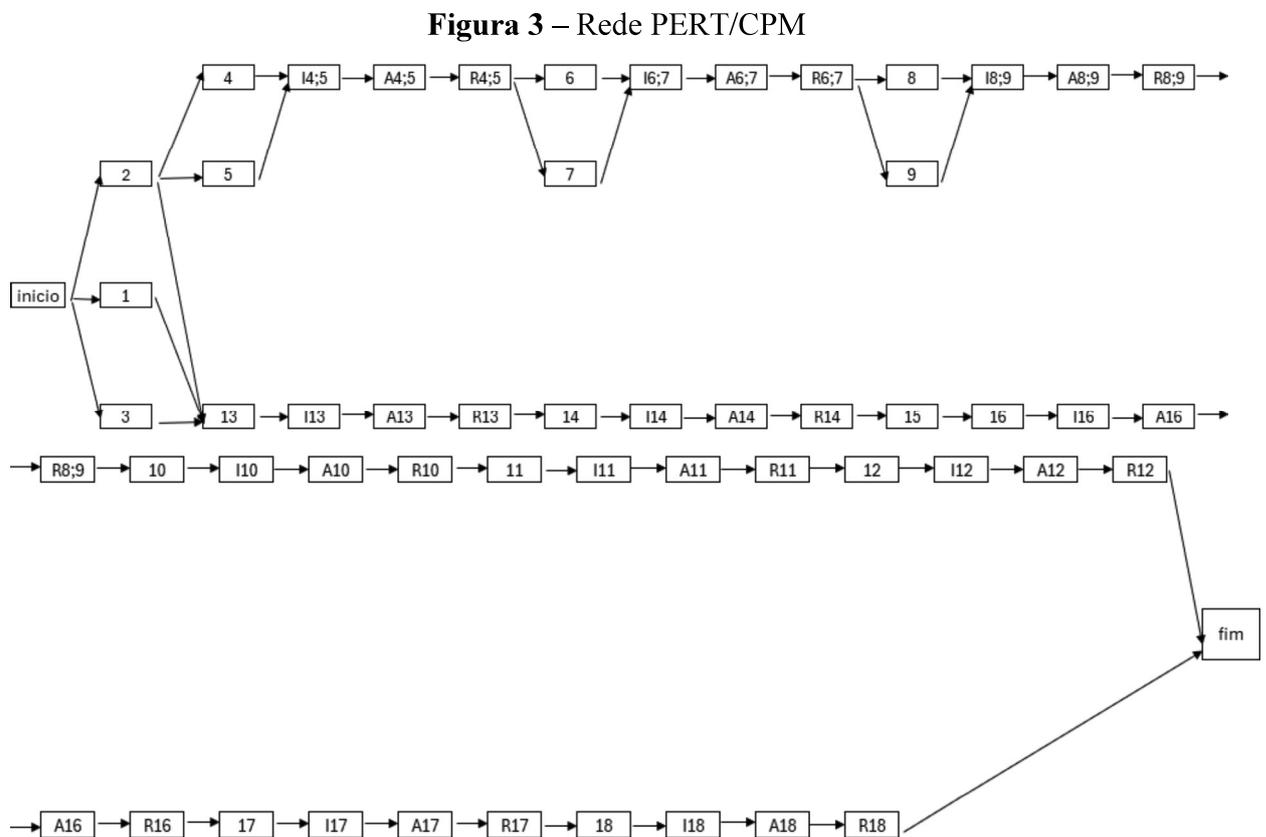
## **4.2 Rede de atividades**

A Figura 3 apresenta a rede de precedência do projeto, exibindo apenas a sequência lógica entre as tarefas, sem datas ou durações associadas. Cada pequeno retângulo corresponde a uma das dezoito atividades principais numeradas na Metodologia; as linhas que os conectam indicam, de forma simplificada, qual tarefa deve terminar (ou iniciar) antes que a seguinte possa prosseguir.

O diagrama revela uma cadeia vertical de atividades que representa o fluxo principal da obra. Pequenos desvios laterais aparecem em pontos específicos: eles correspondem a inspeções, ajustes ou reinspeções que se iniciam logo após determinadas etapas principais,

retornando em seguida ao traçado central. Esses ramos laterais evidenciam os controles de qualidade planejados para garantir conformidade antes do avanço para a fase seguinte.

Embora não mostre datas, a rede cumpre papel importante: ela serve de base estrutural para os cálculos PERT/CPM realizados em planilha, onde os Tempos Esperados obtidos na Seção 4.1 foram inseridos para gerar as datas de início e término “mais cedo” e “mais tarde” e, a partir delas, identificar o caminho crítico. Dessa forma, a Figura 3 fixa o encadeamento de atividades que sustenta as análises de duração, folga e sensibilidade desenvolvidas nos tópicos seguintes deste capítulo.



**Fonte:** Autoria própria.

### 4.3 Caminho Crítico

A Figura 4 exibe a rede de atividades já preenchida com os Tempos Esperados e os resultados dos cálculos dos diferentes tempos de início e término e, conseqüentemente, as folgas de cada atividade considerando o cenário misto, para a distribuição Normal e Exponencial o caminho permaneceu inalterado. As etapas pertencentes ao caminho crítico, destacadas em vermelho, foram identificadas porque a folga total calculada para cada uma delas é igual a zero.

Dessa forma, qualquer atraso nelas se transfere integralmente para a data de término do projeto. Todas as demais caixas possuem folga positiva e, portanto, certa margem de absorção de imprevistos.

A comparação entre os três cenários estatísticos, Normal, Exponencial e Misto, revela que, embora o caminho crítico permaneça o mesmo, há variações na folga das atividades não críticas, influenciadas pela natureza das distribuições utilizadas.

No cenário Exponencial, a presença de caudas longas faz com que alguns tempos esperados se alonguem, o que proporciona maior folga às atividades críticas. Já no cenário Normal, como a dispersão é menor, essas folgas se reduzem, resultando em um cronograma mais apertado. O cenário Misto, ao combinar elementos de ambas as distribuições, apresenta um comportamento intermediário, refletindo melhor a realidade operacional do projeto.

Além disso, é possível observar diferenças significativas nas datas de finalização do projeto, considerando a mesma data de início (14/02/2025):

- Distribuição Normal: término em 21/11/2025, com duração total de 280,91 dias
- Distribuição Mista: término em 19/12/2025, com duração de 308,61 dias
- Distribuição Exponencial: término em 09/01/2026, com duração de 329,82 dias

Esses resultados reforçam que a escolha da distribuição estatística impacta diretamente o prazo previsto para conclusão, sendo o cenário Misto o mais equilibrado entre realismo e margem de segurança.

A constância do caminho crítico em todos os cenários reforça duas implicações práticas. Primeiro, o controle diário da obra deve se concentrar nessas tarefas críticas, pois nelas qualquer desvio impactará o prazo contratual. Segundo, como a estrutura do caminho crítico não muda entre os cenários-base, eventuais alterações observadas nas análises de sensibilidade (Seção 4.4) poderão ser atribuídas diretamente às perturbações aplicadas nos testes; variação de parâmetros de dispersão, troca de quantis ou ajuste direto dos Tempos Esperados; e não a diferenças na lógica da rede. Dessa maneira, a Figura 4 estabelece a linha de base contra a qual será avaliada a robustez temporal do projeto.



#### 4.4 Resultados Análise de Sensibilidade

Com o cronograma-base já caracterizado em termos de tempos esperados, rede de precedência e caminho crítico, esta seção apresenta os resultados dos ensaios de sensibilidade concebidos para aferir a robustez temporal do projeto. As três análises seguem exatamente o protocolo descrito na Metodologia. A primeira investiga o impacto de ampliar ou contrair a dispersão das distribuições estatísticas: o desvio-padrão da Normal e o parâmetro  $\lambda$  da Exponencial foram aumentados e reduzidos em diferentes faixas percentuais, de modo a simular cenários mais voláteis ou mais estáveis que o adotado originalmente. A segunda análise altera os limites otimista e pessimista, substituindo o par de quantis Q5–Q95 por intervalos mais estreitos ou mais amplos; o objetivo é reproduzir percepções distintas de risco na estimativa das durações. Finalmente, a terceira análise aplica variações diretas nos Tempos Esperados das tarefas que compõem o caminho crítico, a fim de medir como desvios pontuais em frentes sem folga repercutem na data contratual de término.

Para cada uma dessas abordagens, os novos valores de duração foram inseridos na planilha-rede, os cálculos PERT/CPM foram refeitos e registraram-se quatro indicadores de comparação: a duração total do projeto, a variação absoluta em dias em relação à linha-de-base, a eventual entrada ou saída de atividades no caminho crítico e a elasticidade, entendida como a razão entre o desvio observado e a alteração aplicada. Os resultados são apresentados a seguir, em subseções próprias para cada análise, acompanhados das tabelas e interpretações correspondentes. Assim, o leitor poderá julgar, de forma objetiva, em que medida o cronograma suporta oscilações de variabilidade, mudanças de intervalo de confiança e desvios localizados nas tarefas de maior relevância.

##### 4.4.1 Análise de Sensibilidade 1

Para investigar a influência da dispersão estatística sobre a duração do projeto, ajustou-se o desvio-padrão ( $\sigma$ ) da distribuição Normal e o parâmetro de escala ( $\lambda$ ) da distribuição Exponencial em seis níveis: reduções de 5%, 15% e 30% e acréscimos da mesma magnitude. Os Tempos Otimista ( $T_o$ ), Pessimista ( $T_p$ ) e Esperado ( $T_E$ ) resultantes encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 6 e 7. Cada Tabela segue a lógica já apresentada no Capítulo 2: primeiro a variação aplicada (PERC), em seguida os valores recalculados para os três cenários (Exponencial, Normal e Misto).

A Tabela 6 apresenta, os tempos obtidos aumentando o desvio padrão ( $\sigma$ ) e  $\lambda$  em 5%, 15% e 30%.

**Tabela 6 – Tempos Esperados aumentado 5%, 15% e 30%**

Atividade	Descrição da Atividade	Tempo Esperado Exponencial			Tempo Esperado Normal			Tempo Esperado Misto		
		5%	15%	30%	5%	15%	30%	5%	15%	30%
1	Bandejão	73,88	68,16	65,03	61,50	61,50	61,50	61,50	61,50	61,50
2	Linha de Vida	24,03	22,17	21,15	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
3	Instalar Cremalheira	37,24	34,36	32,78	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00
4	Desmontar vidro Jardins	2,52	2,33	2,22	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10
5	Desmontar vidro 23° e 24° PAV	6,20	5,72	5,46	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16
6	Reparar Fachada Jardins	84,09	77,58	74,01	70,00	70,00	70,00	84,09	77,58	74,01
7	Reparar Fachada 23°+24°	84,09	77,58	74,01	70,00	70,00	70,00	84,09	77,58	74,01
8	Instalar Vidro Jardins	9,61	8,87	8,46	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
9	Instalar Vidro 23° e 24°	12,49	11,53	11,00	10,40	10,40	10,40	10,40	10,40	10,40
10	Desmontagem Vidro Terro, 1° e 2° PAV	0,31	0,29	0,28	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
11	Reparar Fachada Terreo, 1° e 2° PAV	84,09	77,58	74,01	70,00	70,00	70,00	84,09	77,58	74,01
12	Instalar Vidro Terreo, 1° e 2° PAV	1,20	1,11	1,06	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
13	Desmontagem Vidro Externo	6,31	5,82	5,55	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25
14	Desontagem Brise	13,45	12,41	11,84	11,20	11,20	11,20	11,20	11,20	11,20
15	Aferir Prumo	14,42	13,30	12,69	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
16	Reparar Fachada Externa	172,98	159,59	152,25	144,00	144,00	144,00	172,98	159,59	152,25
17	Instalar Vidro Externo	23,81	21,97	20,96	19,82	19,82	19,82	19,82	19,82	19,82
18	Instalar Brise	15,02	13,85	13,22	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
I4;5	Inspeção Desmontagem 23° + 24° + jardins	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
A4;5	Ajuste desmontagem vidros internos (23° + 24° + jardins )	0,43	0,40	0,38	0,36	0,36	0,36	0,43	0,40	0,38
R4;5	Reinspeção Desmontagem (23° + 24° + jardins )	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
I6;7	Inspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
A6;7	Ajustar Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	8,41	7,76	7,40	7,00	7,00	7,00	8,41	7,76	7,40
R6;7	Reinspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
I8;9	Inspeccionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
A8;9	Ajustar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,63	0,58	0,55	0,52	0,52	0,52	0,63	0,58	0,55
R8;9	Reinspeccionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
I10	Inspeccionar Desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
A10	Ajustar desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,15	0,18	0,17	0,16
R10	Reinspeccionar desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
I11	Inspeccionar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
A11	Ajustar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	4,21	3,88	3,70	3,50	3,50	3,50	4,21	3,88	3,70
R11	Reinspeccionar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
I12	Inspeccionar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
A12	Ajustar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05
R12	Reinspeccionar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
I13	Inspeccionar Desmontagem Vidro Externo	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
A13	Ajustar desmontagem vidro externo	0,31	0,29	0,28	0,26	0,26	0,26	0,31	0,29	0,28
R13	Reinspeccionar Desmonatgem Vidro Externo	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
I14	Inspeccionar Desmonatgem do Brise	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
A14	Ajustar Desmonatgem do Brise	0,67	0,62	0,59	0,56	0,56	0,56	0,67	0,62	0,59
R14	Reinspeccionar Desmonatgem do Brise	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
I16	Inspeccionar Reparo Fachada Externa	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
A16	Ajustar Reparo Fachada Externa	8,65	7,98	7,61	7,20	7,20	7,20	8,65	7,98	7,61
R16	Reinspeccionar Reparo Fachada Externa	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
I17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
A17	Ajustar Instalação Vidro Externo	1,19	1,10	1,05	0,99	0,99	0,99	1,19	1,10	1,05
R17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
I18	Inspeccionar Instalação do Brise	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53
A18	Ajustar instalação do Brise	0,76	0,70	0,67	0,63	0,63	0,63	0,76	0,70	0,67
R18	Reinspeccionar Instalação Brise	0,60	0,55	0,53	0,50	0,50	0,50	0,60	0,55	0,53

Fonte: Autoria própria.

Já a Tabela 7 apresenta, os tempos obtidos diminuindo o desvio padrão ( $\sigma$ ) e  $\lambda$  em 5%, 15% e 30%.

**Tabela 7 – Tempos Esperados diminuindo 5%, 15% e 30%**

Atividade	Descrição da Atividade	Tempo Esperado Exponencial			Tempo Esperado Normal			Tempo Esperado Misto		
		5%	15%	30%	5%	15%	30%	5%	15%	30%
1	Bandejão	73,88	77,74	85,62	61,50	61,50	61,50	61,50	61,50	61,50
2	Linha de Vida	24,03	25,28	27,84	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
3	Instalar Cremalheira	37,24	39,19	43,16	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00
4	Desmontar vidro Jardins	2,52	2,66	2,92	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10
5	Desmontar vidro 23° e 24° PAV	6,20	6,52	7,18	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16
6	Reparar Fachada Jardins	84,09	88,49	97,45	70,00	70,00	70,00	84,09	88,49	97,45
7	Reparar Fachada 23°+24°	84,09	88,49	97,45	70,00	70,00	70,00	84,09	88,49	97,45
8	Instalar Vidro Jardins	9,61	10,11	11,14	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
9	Instalar Vidro 23° e 24°	12,49	13,15	14,48	10,40	10,40	10,40	10,40	10,40	10,40
10	Desmontagem Vidro Terro, 1° e 2° PAV	0,31	0,33	0,36	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
11	Reparar Fachada Terreo, 1° e 2° PAV	84,09	88,49	97,45	70,00	70,00	70,00	84,09	88,49	97,45
12	Instalar Vidro Terreo, 1° e 2° PAV	1,20	1,26	1,39	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
13	Desmontagem Vidro Externo	6,31	6,64	7,31	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25
14	Desontagem Brise	13,45	14,16	15,59	11,20	11,20	11,20	11,20	11,20	11,20
15	Aferir Prumo	14,42	15,17	16,71	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
16	Reparar Fachada Externa	172,98	182,03	200,47	144,00	144,00	144,00	172,98	182,03	200,47
17	Instalar Vidro Externo	23,81	25,06	27,59	19,82	19,82	19,82	19,82	19,82	19,82
18	Instalar Brise	15,02	15,80	17,40	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50
I4;5	Inspeção Desmontagem 23° + 24° + jardins	0,60	0,63	0,70	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,70
A4;5	Ajuste desmontagem vidros internos (23° + 24° + jardins )	0,43	0,46	0,50	0,36	0,36	0,36	0,43	0,46	0,50
R4;5	Reinspeção Desmontagem (23° + 24° + jardins )	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
I6;7	Inspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
A6;7	Ajustar Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	8,41	8,85	9,75	7,00	7,00	7,00	8,41	8,85	9,75
R6;7	Reinspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
I8;9	Inspeccionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
A8;9	Ajustar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,63	0,66	0,73	0,52	0,52	0,52	0,63	0,66	0,73
R8;9	Reinspeccionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
I10	Inspeccionar Desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
A10	Ajustar desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	0,18	0,19	0,21	0,15	0,15	0,15	0,18	0,19	0,21
R10	Reinspeccionar desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
I11	Inspeccionar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
A11	Ajustar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	4,21	4,43	4,87	3,50	3,50	3,50	4,21	4,43	4,87
R11	Reinspeccionar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
I12	Inspeccionar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
A12	Ajustar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	0,06	0,06	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07
R12	Reinspeccionar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
I13	Inspeccionar Desmontagem Vidro Externo	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
A13	Ajustar desmontagem vidro externo	0,31	0,33	0,36	0,26	0,26	0,26	0,31	0,33	0,36
R13	Reinspeccionar Desmonatgam Vidro Externo	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
I14	Inspeccionar Desmonatgem do Brise	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
A14	Ajustar Desmonatgem do Brise	0,67	0,71	0,78	0,56	0,56	0,56	0,67	0,71	0,78
R14	Reinspeccionar Desmonatgem do Brise	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
I16	Inspeccionar Reparo Fachada Externa	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
A16	Ajustar Reparo Fachada Externa	8,65	9,10	10,02	7,20	7,20	7,20	8,65	9,10	10,02
R16	Reinspeccionar Reparo Fachada Externa	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
I17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
A17	Ajustar Instalação Vidro Externo	1,19	1,25	1,38	0,99	0,99	0,99	1,19	1,25	1,38
R17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
I18	Inspeccionar Instalação do Brise	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63
A18	Ajustar instalação do Brise	0,76	0,80	0,88	0,63	0,63	0,63	0,76	0,80	0,88
R18	Reinspeccionar Instalação Brise	0,60	0,63	0,63	0,50	0,50	0,50	0,60	0,63	0,63

Fonte: Autoria própria.

Após o recálculo dos Tempos Esperados, esses valores foram incorporados à rede de atividades, e todos os passos do algoritmo PERT/CPM foram repetidos. Dessa forma, obteve-se uma nova data de término para cada combinação de distribuição e variação de dispersão, bem como a eventual inclusão ou exclusão de tarefas no caminho crítico.

A configuração resultante desses caminhos críticos está resumida nas Tabelas 8 e 9, que correspondem, aos cenários Exponencial, Normal e Misto após o acréscimo e diminuição de 5%, respectivamente, no parâmetro de dispersão ou locação. As datas obtidas em todas as variações estão representadas na Tabela 10.

**Tabela 8 – Caminho crítico aumentando 5%**

Atividade	Descrição da Atividade	Precedência	TE Exponencial	Folga	Caminho Crítico	TE Normal	Folga	Caminho Crítico	TE Misto	Folga	Caminho Crítico
1	Bandejão		73,88	0	sim	61,50	0	sim	61,50	0	sim
2	Linha de Vida		24,03	49,85	não	20,00	41,5	não	20,00	41,5	não
3	Instalar Cremalheira		37,24	36,64	não	31,00	30,5	não	31,00	30,5	não
4	Desmontar vidro Jardins	2	2,52	106,6	não	2,10	88,6	não	2,10	88,6	não
5	Desmontar vidro 23° e 24° PAV	2	6,20	102,9	não	5,16	85,5	não	5,16	85,7	não
6	Reparar Fachada Jardins	R4;5	84,09	187	não	70,00	155,5	não	84,09	169,8	não
7	Reparar Fachada 23°+24°	R4;5	84,09	102,9	não	70,00	85,5	não	84,09	85,7	não
8	Instalar Vidro Jardins	R6;7	9,61	105,8	não	8,00	87,9	não	8,00	88,1	não
9	Instalar Vidro 23° e 24°	R6;7	12,49	102,9	não	10,40	85,5	não	10,40	85,7	não
10	Desmontagem Vidro Terro, 1° e 2° PAV	R8;9	0,31	102,9	não	0,26	85,5	não	0,26	85,7	não
11	Reparar Fachada Terreo, 1° e 2° PAV	R10	84,09	102,9	não	70,00	85,5	não	84,09	85,7	não
12	Instalar Vidro Terreo, 1° e 2° PAV	R11	1,20	102,9	não	1,00	85,5	não	1,00	85,7	não
13	Desmontagem Vidro Externo	1;2;3	6,31	0	sim	5,25	0	sim	5,25	0	sim
14	Desontagem Brise	R13	13,45	0	sim	11,20	0	sim	11,20	0	sim
15	Aferir Prumo	R14	14,42	0	sim	12,00	0	sim	12,00	0	sim
16	Reparar Fachada Externa	15	172,98	0	sim	144,00	0	sim	172,98	0	sim
17	Instalar Vidro Externo	R16	23,81	0	sim	19,82	0	sim	19,82	0	sim
18	Instalar Brise	R17	15,02	0	sim	12,50	0	sim	12,50	0	sim
I4;5	Inspeção Desmontagem 23° + 24° + jardins	4;5	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
A4;5	Ajuste vidros internos (23° + 24° + jardins)	I4;5	0,43	102,9	não	0,36	85,5	não	0,43	85,7	não
R4;5	Reinspeção Desmontagem (23° + 24° + jardins)	A4;5	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
I6;7	Inspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	6;7	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
A6;7	Ajustar Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	I6;7	8,41	102,9	não	7,00	85,5	não	8,41	85,7	não
R6;7	Reinspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	A6;7	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
I8;9	Inspeccionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	8;9	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
A8;9	Ajustar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	I8;9	0,63	102,9	não	0,52	85,5	não	0,63	85,7	não
R8;9	Reinspeccionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	A8;9	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
I10	Inspeccionar Desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	10	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
A10	Ajustar desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	I10	0,18	102,9	não	0,15	85,5	não	0,18	85,7	não
R10	Reinspeccionar desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	A10	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
I11	Inspeccionar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	11	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
A11	Ajustar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	I11	4,21	102,9	não	3,50	85,5	não	4,21	85,7	não
R11	Reinspeccionar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	A11	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
I12	Inspeccionar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	12	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
A12	Ajustar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	I12	0,06	103,9	não	0,05	86,5	não	0,06	86,7	não
R12	Reinspeccionar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	A12	0,60	103,9	não	0,50	86,5	não	0,60	86,7	não
I13	Ajustar desmontagem vidro externo	13	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
A13	Inspeccionar Desmontagem Vidro Externo	I13	0,31	0	sim	0,26	0	sim	0,31	0	sim
R13	Reinspeccionar Desmontagem Vidro Externo	A13	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
I14	Inspeccionar Desmontagem do Brise	14	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
A14	Ajustar Desmontagem do Brise	I14	0,67	0	sim	0,56	0	sim	0,67	0	sim
R14	Reinspeccionar Desmontagem do Brise	A14	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
I16	Inspeccionar Reparo Fachada Externa	16	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
A16	Ajustar Reparo Fachada Externa	I16	8,65	0	sim	7,20	0	sim	8,65	0	sim
R16	Reinspeccionar Reparo Fachada Externa	A16	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
I17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	17	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
A17	Ajustar Instalação Vidro Externo	I17	1,19	0	sim	0,99	0	sim	1,19	0	sim
R17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	A17	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
I18	Inspeccionar Instalação do Brise	18	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
A18	Ajustar instalação do Brise	I18	0,76	0	sim	0,63	0	sim	0,76	0	sim
R18	Reinspeccionar Instalação Brise	A18	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
			<b>Fim= 17/01/2026</b>				<b>Fim =21/11/2025</b>				<b>Fim =23/12/2025</b>

Fonte: Autoria Própria

**Tabela 9 – Caminho crítico diminuindo 5%**

Atividade	Descrição da Atividade	Precedência	TE Exponencial	Folga	Caminho Crítico	TE Normal	Folga	Caminho Crítico	TE Misto	Folga	Caminho Crítico
1	Bandejão		73,88	0	sim	61,50	0	sim	73,88	0	sim
2	Linha de Vida		24,03	49,85	não	20,00	41,5	não	24,03	41,5	não
3	Instalar Cremalheira		37,24	36,64	não	31,00	30,5	não	37,24	30,5	não
4	Desmontar vidro Jardins	2	2,52	106,6	não	2,10	88,6	não	2,52	88,6	não
5	Desmontar vidro 23º e 24º PAV	2	6,20	102,9	não	5,16	85,5	não	6,20	85,7	não
6	Reparar Fachada Jardins	R4;5	84,09	187	não	70,00	155,5	não	84,09	169,8	não
7	Reparar Fachada 23º+24º	R4;5	84,09	102,9	não	70,00	85,5	não	84,09	85,7	não
8	Instalar Vidro Jardins	R6;7	9,61	105,8	não	8,00	87,9	não	9,61	88,1	não
9	Instalar Vidro 23º e 24º	R6;7	12,49	102,9	não	10,40	85,5	não	12,49	85,7	não
10	Desmontagem Vidro Terro, 1º e 2º PAV	R8;9	0,31	102,9	não	0,26	85,5	não	0,31	85,7	não
11	Reparar Fachada Terreo, 1º e 2º PAV	R10	84,09	102,9	não	70,00	85,5	não	84,09	85,7	não
12	Instalar Vidro Terreo, 1º e 2º PAV	R11	1,20	102,9	não	1,00	85,5	não	1,20	85,7	não
13	Desmontagem Vidro Externo	1;2;3	6,31	0	sim	5,25	0	sim	6,31	0	sim
14	Desontagem Brise	R13	13,45	0	sim	11,20	0	sim	13,45	0	sim
15	Aferir Prumo	R14	14,42	0	sim	12,00	0	sim	14,42	0	sim
16	Reparar Fachada Externa	15	172,98	0	sim	144,00	0	sim	172,98	0	sim
17	Instalar Vidro Externo	R16	23,81	0	sim	19,82	0	sim	23,81	0	sim
18	Instalar Brise	R17	15,02	0	sim	12,50	0	sim	15,02	0	sim
I4;5	Inspeção Desmontagem 23º + 24º + jardins	4;5	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
A4;5	Ajuste vidros internos (23º + 24º + jardins )	I4;5	0,43	102,9	não	0,36	85,5	não	0,43	85,7	não
R4;5	Reinspeção Desmontagem (23º + 24º + jardins )	A4;5	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
I6;7	Inspeção Reparo vidros internos (23º, 24º e Jardins)	6;7	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
A6;7	Ajustar Reparo vidros internos (23º, 24º e Jardins)	I6;7	8,41	102,9	não	7,00	85,5	não	8,41	85,7	não
R6;7	Reinspeção Reparo vidros internos (23º, 24º e Jardins)	A6;7	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
I8;9	Inspeccionar Instalação vidros internos (23º, 24º e Jardins)	8;9	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
A8;9	Ajustar Instalação vidros internos (23º, 24º e Jardins)	I8;9	0,63	102,9	não	0,52	85,5	não	0,63	85,7	não
R8;9	Reinspeccionar Instalação vidros internos (23º, 24º e Jardins)	A8;9	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
I10	Inspeccionar Desmontagem Terreo, 1º e 2º PAV	10	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
A10	Ajustar desmontagem Terreo, 1º e 2º PAV	I10	0,18	102,9	não	0,15	85,5	não	0,18	85,7	não
R10	Reinspeccionar desmontagem Terreo, 1º e 2º PAV	A10	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
I11	Inspeccionar Reparo Terreo, 1º e 2º PAV	11	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
A11	Ajustar Reparo Terreo, 1º e 2º PAV	I11	4,21	102,9	não	3,50	85,5	não	4,21	85,7	não
R11	Reinspeccionar Reparo Terreo, 1º e 2º PAV	A11	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
I12	Inspeccionar Instalação Terreo, 1º e 2º PAV	12	0,60	102,9	não	0,50	85,5	não	0,60	85,7	não
A12	Ajustar Instalação Terreo, 1º e 2º PAV	I12	0,06	103,9	não	0,05	86,5	não	0,06	86,7	não
R12	Reinspeccionar Instalação Terreo, 1º e 2º PAV	A12	0,60	103,9	não	0,50	86,5	não	0,60	86,7	não
I13	Ajustar desmontagem vidro externo	13	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
A13	Inspeccionar Desmontagem Vidro Externo	I13	0,31	0	sim	0,26	0	sim	0,31	0	sim
R13	Reinspeccionar Desmontagem Vidro Externo	A13	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
I14	Inspeccionar Desmontagem do Brise	14	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
A14	Ajustar Desmontagem do Brise	I14	0,67	0	sim	0,56	0	sim	0,67	0	sim
R14	Reinspeccionar Desmontagem do Brise	A14	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
I16	Inspeccionar Reparo Fachada Externa	16	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
A16	Ajustar Reparo Fachada Externa	I16	8,65	0	sim	7,20	0	sim	8,65	0	sim
R16	Reinspeccionar Reparo Fachada Externa	A16	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
I17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	17	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
A17	Ajustar Instalação Vidro Externo	I17	1,19	0	sim	0,99	0	sim	1,19	0	sim
R17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	A17	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
I18	Inspeccionar Instalação do Brise	18	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
A18	Ajustar Instalação do Brise	I18	0,76	0	sim	0,63	0	sim	0,76	0	sim
R18	Reinspeccionar Instalação Brise	A18	0,60	0	sim	0,50	0	sim	0,60	0	sim
			<b>Fim=17/01/2026</b>				<b>Fim =21/11/2025</b>				<b>Fim =23/12/2025</b>

Fonte: Autoria Própria.

**Tabela 10 – Resultados Análise 1**

Distribuição	Variação	Duração Total (dias)	Data de Término
Normal	±5%	280,91	21/11/2025
Mista	±5%	312,84	23/12/2025
Exponencial	±5%	337,45	17/01/2026
Mista	15%	298,08	09/12/2025
Mista	-15%	322,81	02/01/2026
Mista	30%	290,00	30/11/2025
Mista	-30%	342,48	22/01/2026
Exponencial	15%	311,32	22/12/2025
Exponencial	-15%	355,1	04/02/2026
Exponencial	30%	297,00	08/12/2025
Exponencial	-30%	390,43	11/03/2026

Fonte: Autoria Própria.

Cabe destacar que a ordem sequencial das atividades de folga do caminho crítico total se manteve constante considerando os cenários base, permitindo comparar com a cadeia original apresentada na Seção 4.3.

Com base nos caminhos críticos, folgas totais e novas datas de término apresentados constata-se que a alteração simétrica de  $\pm 5\%$  nos parâmetros de dispersão não provocou qualquer reordenação das atividades críticas; a cadeia identificada na análise original permaneceu intacta e não houve diferença entre os valores encontrados no aumento e redução. Entretanto, com relação às datas finais originalmente calculadas, as exponenciais e mistas obtiveram leves atrasos.

Nas análises com variação de  $\pm 5\%$ , a distribuição exponencial apresentou um tempo total de 337,45 dias para a conclusão do projeto, com término previsto para 17 de janeiro de 2026. Já na distribuição mista, tanto o aumento quanto a redução de 5% resultaram em um mesmo tempo total de 312,84 dias, com data final estimada em 23 de dezembro de 2025.

O mesmo procedimento foi aplicado para as demais faixas de variação ( $\pm 15\%$  e  $\pm 30\%$ ), os caminhos críticos permaneceram inalterados, mas teve modificações na data de término do projeto. Como não teve alteração não se torna necessário apresentar os detalhes do caminho crítico para essas variações. Contudo, a partir dos resultados obtidos, é possível observar que as datas finais do projeto na distribuição normal se mantiveram com relação a obtida originalmente, o que demonstra pouca sensibilidade nessa distribuição. Com relação aos tempos exponenciais, obtiveram-se alterações nas datas mostrando sensibilidade nessa distribuição, irradiando alterações na mista.

Para a distribuição Exponencial, na variação de +15%, obteve-se uma data final em 22/12/2025, com duração total de 311,32 dias. Já na análise com -15%, o projeto se estenderia por mais tempo, totalizando 355,10 dias, com término em 04/02/2026. Na variação de +30%, foi obtido o menor prazo dentro dessa análise para essa distribuição, com duração de 297 dias e conclusão em 08/12/2025. Por outro lado, a variação de -30% resultou na maior duração da análise, com término em 11/03/2026 e durando 390,43 dias.

No caso da distribuição mista, com variação de +15%, a conclusão da obra está prevista para 09/12/2025, com duração de 298,08 dias. Já com variação de -15%, a duração aumenta para 322,81 dias, resultando em término em 02/01/2026. Para a análise com variação de +30%, obteve-se a data de 30/11/2025, com duração de 290 dias. Por fim, na variação de -30%, a duração totaliza 342,48 dias, com finalização prevista para 22/01/2026.

Essa abordagem permite verificar não apenas a nova duração global do projeto, mas também se houve migração de atividades para dentro ou para fora do caminho crítico. Essa informação é crucial para avaliar a robustez do cronograma diante de mudanças na variabilidade dos tempos de execução.

A data final do cenário com distribuição normal permaneceu inalterada para todas as variações. Entretanto, à distribuição exponencial, o teste com aumento de 30% nos tempos resultou em uma antecipação na data de conclusão do projeto, enquanto a redução de 30% causou um atraso de dois meses no cronograma.

No cenário com distribuição mista, o aumento de 30% nos tempos provocou uma antecipação da data final para o mês de novembro, ao passo que, no teste com redução de 30%, houve um atraso de aproximadamente um mês.

De modo geral, foi possível observar que a distribuição exponencial apresentou maior sensibilidade às variações de tempo, resultando em impactos mais significativos no cronograma, como era esperado devido à sua característica de gerar valores desproporcionais. Por outro lado, a distribuição normal demonstrou baixa ou nenhuma sensibilidade, mantendo os resultados estáveis mesmo com as alterações testadas. Já a distribuição mista refletiu, em parte, os efeitos observados na exponencial, indicando influência combinada das variabilidades envolvidas.

Adicionalmente, as atividades pertencentes ao caminho crítico confirmaram sua relevância, apresentando baixa sensibilidade e mantendo-se como determinantes da duração total do projeto, independentemente das mudanças realizadas nos cenários simulados.

#### **4.4.2 Análise de Sensibilidade 2**

Nessa análise foram testados novos percentis para avaliar como os tempos se comportam. A primeira tentativa de substituir os limites de 5 % e 95 % pelos quantis extremos Q1 e Q99 revelou-se impraticável: a aplicação desse par gerou, para uma das atividades de apoio, um tempo otimista arredondado a zero, situação incompatível com a lógica do cronograma, já que toda tarefa deve possuir duração estritamente positiva. Essa inconsistência, inviabilizou o uso do par (Q1, Q99).

Como alternativa adotou-se o conjunto de quantis Q2 e Q98, que preservam o princípio de ampliar o intervalo de incerteza sem incorrer em valores nulos. Similarmente foi feito para os quantis Q10 e Q90, Q20 e Q80. Os resultados dos tempos esperados são recalculados com esses novos limites e apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11** – Novos Tempos Esperados considerando os quantis Q2, Q10 e Q20, como sendo os Tempos Otimistas e Q98, Q90 e Q80, como sendo os Tempos Pessimistas

Atividade	Descrição da Atividade	Q2 e Q98			Q10 e Q90			Q20 e Q80		
		Tempo Esperado								
		Exponencial	Normal	Misto	Exponencial	Normal	Misto	Exponencial	Normal	Misto
1	Bandejão	81,31	61,50	61,50	65,68	61,50	61,50	59,78	61,50	61,50
2	Linha de Vida	26,44	20,00	20,00	21,36	20,00	20,00	19,44	20,00	20,00
3	Instalar Cremalheira	40,98	31,00	31,00	33,11	31,00	31,00	30,14	31,00	31,00
4	Desmontar vidro Jardins	2,78	2,10	2,10	2,24	2,10	2,10	2,04	2,10	2,10
5	Desmontar vidro 23° e 24° PAV	6,82	5,16	5,16	5,51	5,16	5,16	5,02	5,16	5,16
6	Reparar Fachada Jardins	92,54	70,00	92,54	74,76	70,00	74,76	68,05	70,00	68,05
7	Reparar Fachada 23°+24°	92,54	70,00	92,54	74,76	70,00	74,76	68,05	70,00	68,05
8	Instalar Vidro Jardins	10,58	8,00	8,00	8,54	8,00	8,00	7,78	8,00	8,00
9	Instalar Vidro 23° e 24°	13,75	10,40	10,40	11,11	10,40	10,40	10,11	10,40	10,40
10	Desmontagem Vidro Terro, 1° e 2° PAV	0,35	0,26	0,26	0,28	0,26	0,26	0,25	0,26	0,26
11	Reparar Fachada Terreo, 1° e 2° PAV	92,54	70,00	92,54	74,76	70,00	74,76	68,05	70,00	68,05
12	Instalar Vidro Terreo, 1° e 2° PAV	1,32	1,00	1,00	1,07	1,00	1,00	0,97	1,00	1,00
13	Desmontagem Vidro Externo	6,94	5,25	5,25	5,61	5,25	5,25	5,10	5,25	5,25
14	Desontagem Brise	14,81	11,20	11,20	11,96	11,20	11,20	10,89	11,20	11,20
15	Aferir Prumo	15,86	12,00	12,00	12,82	12,00	12,00	11,67	12,00	12,00
16	Reparar Fachada Externa	190,37	144,00	190,37	153,79	144,00	153,79	139,98	144,00	139,98
17	Instalar Vidro Externo	26,20	19,82	19,82	21,17	19,82	19,82	19,27	19,82	19,82
18	Instalar Brise	16,53	12,50	12,50	13,35	12,50	12,50	12,15	12,50	12,50
I4;5	Inspeção Desmontagem 23° + 24° + jardins	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
A4;5	Ajuste desmontagem vidros internos (23° + 24° + jardins )	0,48	0,36	0,48	0,39	0,36	0,39	0,35	0,36	0,35
R4;5	Reinspeção Desmontagem (23° + 24° + jardins )	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
I6;7	Inspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
A6;7	Ajustar Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	9,25	7,00	9,25	7,48	7,00	7,48	6,81	7,00	6,81
R6;7	Reinspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
I8;9	Inspeccionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
A8;9	Ajustar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,69	0,52	0,69	0,56	0,52	0,56	0,51	0,52	0,51
R8;9	Reinspeccionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
I10	Inspeccionar Desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
A10	Ajustar desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	0,20	0,15	0,20	0,16	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15
R10	Reinspeccionar desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
I11	Inspeccionar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
A11	Ajustar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	4,63	3,50	4,63	3,74	3,50	3,74	3,40	3,50	3,40
R11	Reinspeccionar Reparo Terreo, 1° e 2° PAV	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
I12	Inspeccionar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
A12	Ajustar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	0,07	0,05	0,07	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05
R12	Reinspeccionar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
I13	Inspeccionar Desmontagem Vidro Externo	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
A13	Ajustar desmontagem vidro externo	0,35	0,26	0,35	0,28	0,26	0,28	0,25	0,26	0,25
R13	Reinspeccionar Desmontagem Vidro Externo	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
I14	Inspeccionar Desmontagem do Brise	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
A14	Ajustar Desmontagem do Brise	0,74	0,56	0,74	0,60	0,56	0,60	0,54	0,56	0,54
R14	Reinspeccionar Desmontagem do Brise	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
I16	Inspeccionar Reparo Fachada Externa	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
A16	Ajustar Reparo Fachada Externa	9,52	7,20	9,52	7,69	7,20	7,69	7,00	7,20	7,00
R16	Reinspeccionar Reparo Fachada Externa	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
I17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
A17	Ajustar Instalação Vidro Externo	1,31	0,99	1,31	1,06	0,99	1,06	0,96	0,99	0,96
R17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
I18	Inspeccionar Instalação do Brise	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49
A18	Ajustar instalação do Brise	0,83	0,63	0,83	0,67	0,63	0,67	0,61	0,63	0,61
R18	Reinspeccionar Instalação Brise	0,66	0,50	0,66	0,53	0,50	0,53	0,49	0,50	0,49

**Fonte:** Autoria Própria.

Esses novos valores foram inseridos na rede de atividades e os cálculos do caminho crítico refeitos, para que fosse possível comparar a nova data de término do projeto e verificar eventuais alterações no caminho crítico.

A Tabela 12 ilustra os novos caminhos críticos na rede de atividades após o recálculo dos Tempos Esperados das distribuições Exponencial, Normal e Mista, respectivamente; utilizando os quantis 2% e 98% como os tempos otimista e pessimista. A Tabela 13 apresenta os resultados das datas obtidas em todos os testes.

**Tabela 12 – Caminho críticos para os quantis 2% e 98%**

Atividade	Descrição da Atividade	Precedência	TE			Caminho			TE Mista		
			Exponencial	Folga	Critico	Normal	Folga	Critico	Mista	Folga	Critico
1	Bandejão		81,31	0	sim	61,50	0	sim	61,50	0	sim
2	Linha de Vida		26,44	54,87	não	20,00	41,5	não	20,00	41,5	não
3	Instalar Cremalheira		40,98	40,32	não	31,00	30,5	não	31,00	30,5	não
4	Desmontar vidro Jardins	2	2,78	117,4	não	2,10	88,6	não	2,10	88,9	não
5	Desmontar vidro 23° e 24° PAV		6,82	113,4	não	5,16	85,6	não	5,16	85,9	não
6	Reparar Fachada Jardins	R4;5	92,54	205,9	não	70,00	155,5	não	92,54	178,4	não
7	Reparar Fachada 23°+24°	R4;5	92,54	113,4	não	70,00	85,5	não	92,54	85,9	não
8	Instalar Vidro Jardins	R6;7	10,58	116,5	não	8,00	87,9	não	8,00	88,3	não
9	Instalar Vidro 23° e 24°	R6;7	13,75	113,4	não	10,40	85,6	não	10,40	85,9	não
10	Desmontagem Vidro Terro, 1° e 2° PAV	R8;9	0,35	113,4	não	0,26	85,6	não	0,26	85,9	não
11	Reparar Fachada Terreo,1° e 2° PAV	R10	92,54	113,4	não	70,00	85,6	não	92,54	85,9	não
12	Instalar Vidro Terreo,1° e 2° PAV	R11	1,32	113,4	não	1,00	85,6	não	1,00	85,9	não
13	Desmontagem Vidro Externo	1;2;3	6,94	0	sim	5,25	0	sim	5,25	0	sim
14	Desontagem Brise	R13	14,81	0	sim	11,20	0	sim	11,20	0	sim
15	Aferir Prumo	R14	15,86	0	sim	12,00	0	sim	12,00	0	sim
16	Reparar Fachada Externa	15	190,37	0	sim	144,00	0	sim	190,4	0	sim
17	Instalar Vidro Externo	R16	26,20	0	sim	19,82	0	sim	19,82	0	sim
18	Instalar Brise	R17	16,53	0	sim	12,50	0	sim	12,50	0	sim
I4;5	Inspeção Desmontagem 23° + 24° + jardins	4;5	0,66	113,4	não	0,50	85,6	não	0,66	85,9	não
A4;5	Ajuste vidros internos (23° + 24° + jardins )	I4;5	0,48	113,4	não	0,36	85,6	não	0,48	85,9	não
R4;5	Reinspeção Desmontagem (23° + 24° + jardins )	A4;5	0,66	113,4	não	0,50	85,6	não	0,66	85,9	não
I6;7	Inspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	6;7	0,66	113,4	não	0,50	85,6	não	0,66	85,9	não
A6;7	Ajustar Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	I6;7	9,25	113,4	não	7,00	85,6	não	9,25	85,9	não
R6;7	Reinspeção Reparo vidros internos (23°, 24° e Jardins)	A6;7	0,66	113,4	não	0,50	85,6	não	0,66	85,9	não
I8;9	Inspeccionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	8;9	0,66	113,4	não	0,50	85,6	não	0,66	85,9	não
A8;9	Ajustar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	I8;9	0,69	113,4	não	0,52	85,6	não	0,69	85,9	não
R8;9	Reinspeccionar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jarc	A8;9	0,66	113,4	não	0,50	85,6	não	0,66	85,9	não
I10	Inspeccionar Desmontagem Terreo,1° e 2° PAV	10	0,66	113,4	não	0,50	85,6	não	0,66	85,9	não
A10	Ajustar desmontagem Terreo,1° e 2° PAV	I10	0,20	113,4	não	0,15	85,6	não	0,20	85,9	não
R10	Reinspeccionar desmontagem Terreo,1° e 2° PAV	A10	0,66	113,4	não	0,50	85,6	não	0,66	85,9	não
I11	Inspeccionar Reparo Terreo,1° e 2° PAV	11	0,66	113,4	não	0,50	85,6	não	0,66	85,9	não
A11	Ajustar Reparo Terreo,1° e 2° PAV	I11	4,63	113,4	não	3,50	85,6	não	4,63	85,9	não
R11	Reinspeccionar Reparo Terreo,1° e 2° PAV	A11	0,66	113,4	não	0,50	85,6	não	0,66	85,9	não
I12	Inspeccionar Instalação Terreo,1° e 2° PAV	12	0,66	113,4	não	0,50	85,6	não	0,66	85,9	não
A12	Ajustar Instalação Terreo,1° e 2° PAV	I12	0,07	114,4	não	0,05	86,6	não	0,07	86,9	não
R12	Reinspeccionar Instalação Terreo,1° e 2° PAV	A12	0,66	114,4	não	0,50	86,6	não	0,66	86,9	não
I13	Ajustar desmontagem vidro externo	13	0,66	0	sim	0,50	0	sim	0,66	0	sim
A13	Inspeccionar Desmontagem Vidro Externo	I13	0,35	0	sim	0,26	0	sim	0,35	0	sim
R13	Reinspeccionar Desmontagem Vidro Externo	A13	0,66	0	sim	0,50	0	sim	0,66	0	sim
I14	Inspeccionar Desmontagem do Brise	14	0,66	0	sim	0,50	0	sim	0,66	0	sim
A14	Ajustar Desmontagem do Brise	I14	0,74	0	sim	0,56	0	sim	0,74	0	sim
R14	Reinspeccionar Desmontagem do Brise	A14	0,66	0	sim	0,50	0	sim	0,66	0	sim
I16	Inspeccionar Reparo Fachada Externa	16	0,66	0	sim	0,50	0	sim	0,66	0	sim
A16	Ajustar Reparo Fachada Externa	I16	9,52	0	sim	7,20	0	sim	9,52	0	sim
R16	Reinspeccionar Reparo Fachada Externa	A16	0,66	0	sim	0,50	0	sim	0,66	0	sim
I17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	17	0,66	0	sim	0,50	0	sim	0,66	0	sim
A17	Ajustar Instalação Vidro Externo	I17	1,31	0	sim	0,99	0	sim	1,31	0	sim
R17	Inspeccionar Instalação Vidro Externo	A17	0,66	0	sim	0,50	0	sim	0,66	0	sim
I18	Inspeccionar Instalação do Brise	18	0,66	0	sim	0,50	0	sim	0,66	0	sim
A18	Ajustar instalação do Brise	I18	0,83	0	sim	0,63	0	sim	0,83	0	sim
R18	Reinspeccionar Instalação Brise	A18	0,66	0	sim	0,50	0	sim	0,66	0	sim

Fim= 20/02/2026

Fim= 21/11/2025

Fim= 12/01/2025

Fonte: Autoria Própria.

**Tabela 13 - Resultados Análise 2**

Distribuição	Quantis Utilizados	Duração Total (dias)	Data de Término
Normal	Q2 – Q98	280,91	21/11/2025
Exponencial	Q2 – Q98	371,38	20/02/2026
Mista	Q2 – Q98	332,01	12/01/2026
Normal	Q10 – Q90	280,91	21/11/2025
Exponencial	Q10 – Q90	300,00	11/12/2025
Mista	Q10 – Q90	291,69	01/12/2025
Normal	Q20 – Q80	280,91	21/11/2025
Exponencial	Q20 – Q80	273,06	14/11/2025
Mista	Q20 – Q80	276,47	17/11/2025

Fonte: Autoria Própria.

A partir dos resultados obtidos, foi possível observar que, assim como na primeira análise, o caminho crítico permaneceu inalterado considerando Q2 como sendo o Tempo Otimista e Q98 o Tempo Pessimista.

Por outra parte, para todas as variações de quantis restantes (Q10-Q90 e Q20-Q80) aos Tempos Otimistas e Pessimistas o caminho crítico não sofreu alteração nenhuma, pelo que não serão apresentados ditos caminhos críticos. Além disso, cabe destacar que as datas finais associadas à distribuição Normal se mantiveram iguais às da distribuição original.

Em relação à distribuição exponencial, diferentes percentis trouxeram impactos significativos no cronograma. Quando considerados os percentis 2% e 98%, houve um atraso de mais de um mês no término do projeto, com a conclusão prevista para o dia 20 de fevereiro de 2025. Por outro lado, utilizando os percentis 10% e 90%, observou-se uma redução de aproximadamente um mês, com o projeto sendo finalizado em 11 de dezembro de 2025. Já com os percentis 20% e 80%, o encurtamento do cronograma foi ainda mais expressivo, resultando em um término em 14 de novembro de 2025, ou seja, dois meses antes da data original. Esses resultados refletem a sensibilidade gerada por meio da distribuição utilizada.

A distribuição mista refletiu novamente as variações observadas na exponencial. Com os percentis 2% e 98%, o projeto terminaria em 12 de janeiro de 2025, representando um atraso de quase um mês. Já com os percentis 10% e 90%, o término se daria em 1º de dezembro de 2025, adiantando o cronograma em alguns dias. Por fim, ao se utilizar os percentis 20% e 80%, o prazo final seria 17 de novembro de 2025, também antecipando a conclusão do projeto. Com isso, é perceptível que as possíveis datas estão seguindo um padrão de conclusão aproximada entre os meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro.

#### **4.4.3 Análise de Sensibilidade 3**

A terceira análise foi realizada sobre os Tempos Esperados (*TE*), originalmente calculados, das atividades que estão no caminho crítico. A Tabela 14 e 15 apresenta os novos valores de *TE* aumentados e diminuídos em 5% e 10%, assim como os novos caminhos críticos e folgas recalculadas a partir desses novos valores. A Tabela 16 apresenta o resultados das datas e durações obtidos em todos os testes dessa análise.

Tabela 14 – Caminho crítico para aumento de 5% e 10% sobre as atividades do caminho crítico base

Atividade	Precedência	Descrição da Atividade	Distribuição Exponencial				Distribuição Normal				Distribuição Mista								
			TE Original	(TE Caminho Crítico) x 1,05	Folga	Caminho Crítico	(TE Caminho Crítico) x 1,10	Folga	Caminho Crítico	(TE Caminho Crítico) x 1,15	Folga	Caminho Crítico	TE Original	(TE Caminho Crítico) x 1,05	Folga	Caminho Crítico			
1		Bandeja	72,41	76,71	0	76,32	0	81,50	64,58	0	61,50	64,58	0	61,50	64,58	0	67,85	1,10	
2		Linha de Vida	23,49	-	52,2	-	39,3	não	20,00	-	44,58	não	20,00	-	44,58	não	20,00	-	
3		Instalar Cremaicheira	36,41	-	120,6	-	120,6	não	44,00	-	20,58	não	44,00	-	20,58	não	44,00	-	
4	2	Desmontar vidro Jardins	2,47	-	17,0	-	17,0	não	2,10	-	116,7	não	2,10	-	116,7	não	2,10	-	
5	2	Desmontar vidro 23° e 24° PAV	6,06	-	199,2	-	199,2	não	5,16	-	183,3	não	5,16	-	183,3	não	5,16	-	
6	R4:5	Reparar Fachada Jardins	82,22	-	119,8	-	119,8	não	70,00	-	99,6	não	70,00	-	99,6	não	70,00	-	
7	R4:5	Reparar Fachada 23°+24°	82,22	-	119,8	-	119,8	não	8,00	-	102	não	8,00	-	102	não	8,00	-	
8	R6:7	Instalar Vidro Jardins	9,40	-	117,0	-	117,0	não	10,40	-	99,6	não	10,40	-	99,6	não	10,40	-	
9	R6:7	Instalar Vidro 23° e 24°	12,22	-	117,0	-	117,0	não	10,40	-	99,6	não	10,40	-	99,6	não	10,40	-	
10	R8:9	Desmontagem Vidro Terro, 1° e 2° PAV	0,31	-	117,0	-	117,0	não	0,26	-	99,6	não	0,26	-	99,6	não	0,26	-	
11	R10	Reparar Fachada Terro, 1° e 2° PAV	82,22	-	117,0	-	117,0	não	70,00	-	99,6	não	70,00	-	99,6	não	70,00	-	
12	R11	Instalar Vidro Terro, 1° e 2° PAV	1,18	-	117,0	-	117,0	não	1,00	-	99,6	não	1,00	-	99,6	não	1,00	-	
13	1:2:3	Desmontagem Vidro Externo	6,78	0	14,47	0	14,47	0	5,25	5,51	5,51	0	5,25	5,51	5,51	0	5,78	0	
14	R13	Desmontagem Brise	13,15	13,81	0	15,50	0	15,50	0	12,00	12,60	0	12,00	12,60	0	12,00	12,60	0	
15	R14	Aleir Prumo	14,10	14,80	0	16,04	0	16,04	0	14,40	15,20	0	14,40	15,20	0	14,40	15,20	0	
16	R16	Reparar Fachada Externa	169,13	177,59	0	186,04	0	186,04	0	144,00	151,20	0	144,00	151,20	0	144,00	151,20	0	
17	R16	Instalar Vidro Externo	23,28	24,44	0	25,61	0	25,61	0	19,82	20,81	0	19,82	20,81	0	19,82	20,81	0	
18	R17	Instalar Brise	14,68	15,42	0	16,15	0	16,15	0	12,50	13,13	0	12,50	13,13	0	12,50	13,13	0	
18	I4:5	Inspeção Desmontagem 23° + 24° + Jardins	0,59	-	117,0	-	117,0	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	
A4:5	I4:5	Ajuste vidros internos (23° + 24° + Jardins)	0,42	-	117,0	-	117,0	não	0,36	-	99,6	não	0,36	-	99,6	não	0,36	-	
R4:5	A4:5	Reinspeção Desmontagem (23° + 24° + Jardins)	0,59	-	117,0	-	117,0	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	
R6:7	I6:7	Inspeção Reparar vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,59	-	117,0	-	117,0	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	
A6:7	I6:7	Ajustar Reparar vidros internos (23°, 24° e Jardins)	8,22	-	117,0	-	117,0	não	7,00	-	99,6	não	7,00	-	99,6	não	7,00	-	
R6:7	A6:7	Reinspeção Reparar vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,59	-	117,0	-	117,0	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	
I8:9	I8:9	Inspeção Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,59	-	117,0	-	117,0	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	
R8:9	I8:9	Ajustar Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,61	-	117,0	-	117,0	não	0,52	-	99,6	não	0,52	-	99,6	não	0,52	-	
R8:9	A8:9	Reinspeção Instalação vidros internos (23°, 24° e Jardins)	0,59	-	117,0	-	117,0	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	
I10	I10	Inspeção Desmontagem Terro, 1° e 2° PAV	0,59	-	117,0	-	117,0	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	
A10	I10	Ajustar desmontagem Terro, 1° e 2° PAV	0,18	-	117,0	-	117,0	não	0,15	-	99,6	não	0,15	-	99,6	não	0,15	-	
R10	A10	Reinspeção desmontagem Terro, 1° e 2° PAV	0,59	-	117,0	-	117,0	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	
I11	I11	Inspeção Reparar Terro, 1° e 2° PAV	0,59	-	117,0	-	117,0	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	
A11	I11	Ajustar Reparar Terro, 1° e 2° PAV	4,11	-	117,0	-	117,0	não	3,50	-	99,6	não	3,50	-	99,6	não	3,50	-	
R11	A11	Reinspeção Reparar Terro, 1° e 2° PAV	0,59	-	117,0	-	117,0	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	99,6	não	0,50	-	
I12	I12	Inspeção Instalação Terro, 1° e 2° PAV	0,59	-	118,0	-	118,0	não	0,50	-	100,6	não	0,50	-	100,6	não	0,50	-	
A12	I12	Ajustar Instalação Terro, 1° e 2° PAV	0,06	-	118,0	-	118,0	não	0,05	-	100,6	não	0,05	-	100,6	não	0,05	-	
R12	A12	Reinspeção Instalação Terro, 1° e 2° PAV	0,59	-	118,0	-	118,0	não	0,50	-	100,6	não	0,50	-	100,6	não	0,50	-	
I13	I13	Ajustar desmontagem vidro externo	0,59	0,62	0	0,65	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,55	0
R13	I13	Reinspeção desmontagem vidro externo	0,31	0,32	0	0,34	0	0,26	0,27	0	0,29	0	0,26	0,27	0	0,29	0	0,31	0,32
A13	A13	Reinspeção Desmontagem Vidro Externo	0,59	0,62	0	0,65	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,59	0,62
I14	I14	Inspeção Desmontagem do Brise	0,66	0,69	0	0,72	0	0,56	0,59	0	0,62	0	0,56	0,59	0	0,62	0	0,66	0,69
R14	I14	Ajustar Desmontagem do Brise	0,59	0,62	0	0,65	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,59	0,62
A14	A14	Reinspeção Desmontagem do Brise	0,59	0,62	0	0,65	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,59	0,62
I16	I16	Inspeção Reparar Fachada Externa	8,46	8,89	0	9,30	0	7,20	7,56	0	7,92	0	7,20	7,56	0	7,92	0	8,46	8,89
R16	A16	Reinspeção Reparar Fachada Externa	0,59	0,62	0	0,65	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,59	0,62
A16	A16	Reinspeção Reparar Fachada Externa	0,59	0,62	0	0,65	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,59	0,62
I17	I17	Inspeção Instalação Vidro Externo	1,16	1,22	0	1,28	0	0,99	1,04	0	1,09	0	0,99	1,04	0	1,09	0	1,16	1,22
R17	A17	Reinspeção Instalação Vidro Externo	0,59	0,62	0	0,65	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,59	0,62
I18	I18	Inspeção Instalação do Brise	0,59	0,62	0	0,65	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,59	0,62
R18	A18	Reinspeção Instalação do Brise	0,74	0,78	0	0,81	0	0,63	0,66	0	0,69	0	0,63	0,66	0	0,69	0	0,74	0,78
A18	A18	Reinspeção Instalação Brise	0,59	0,62	0	0,65	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,50	0,53	0	0,55	0	0,59	0,62

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 15 – Caminho crítico para diminuição de 5% e 10% sobre as atividades do caminho crítico base**

Atividade	Descrição da Atividade	Precedência	Distribuição Exponencial				Distribuição Normal				Distribuição Mista								
			TE Original	Caminho Crítico	Folga	Caminho Crítico	TE Original	Caminho Crítico	Folga	Caminho Crítico	TE Original	Caminho Crítico	Folga	Caminho Crítico					
			1,05	1,10	x	1,10	1,05	1,10	x	1,10	1,05	1,10	x	1,10					
1	Bandeja		72,11	68,50	0	64,89	0	58,43	0	61,50	56,43	0	61,50	56,43	0	56,35	0	sim	
2	Linha de Vida		23,49		45,0	não	41,4	não	38,43	não	20,00	não	38,43	não	20,00	não	35,35	não	35,35
3	Instalar Crenalhaça		36,41		32,1	não	28,48	não	14,43	não	44,00		44,00		44,00		11,35	não	11,35
4	Desmontar vidro Jardins	2	2,47		87,6	não	71,1	não	74,5	não	2,10		2,10		2,10		60,6	não	57,9
5	Desmontar vidro 23° e 24° PAV	2	6,06		84,0	não	67,5	não	71,5	não	5,16		5,16		5,16		57,5	não	54,8
6	Reparar Fachada Jardins	R4,5	82,22		166,2	não	149,7	não	141,5	não	70,00		70,00		82,22		127,5	não	137
7	Reparar Fachada 23° e 24°	R4,5	9,40		84,0	não	67,5	não	70,00	não	8,00		8,00		82,22		70,3	não	54,8
8	Instalar Vidro Jardins	R6,7	12,22		86,8	não	70,3	não	73,9	não	10,40		10,40		8,00		72,7	não	57,2
9	Instalar Vidro 23° e 24°	R6,7	0,31		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,26		0,26		10,40		70,3	não	54,8
10	Desmontagem Vidro Terreo, 1° e 2° PAV	R8,9	82,22		84,0	não	67,5	não	71,5	não	70,00		70,00		82,22		70,3	não	54,8
11	Reparar Fachada Terreo, 1° e 2° PAV	R11	1,18		84,0	não	67,5	não	71,5	não	1,00		1,00		1,00		70,3	não	54,8
12	Instalar Vidro Terreo, 1° e 2° PAV	R12	6,17		5,86	0	5,55	0	4,99	0	5,25		5,25		4,99		4,73	0	4,73
13	Desmontagem Vidro Externo	R13	13,15		12,50	0	11,84	0	10,64	0	11,20		11,20		10,64	0	10,08	0	10,08
14	Desmontagem Brise	R14	14,10		13,39	0	12,69	0	11,40	0	12,00		12,00		11,40	0	10,80	0	10,80
15	Alerta Prumo	R15	169,13		160,67	0	152,22	0	136,80	0	144,0		144,0		136,80	0	129,60	0	129,60
16	Reparar Fachada Externa	R16	23,28		22,12	0	20,95	0	19,82	0	19,82		19,82		19,82		17,84	0	17,84
17	Instalar Vidro Externo	R17	14,68		13,95	0	13,21	0	11,88	0	12,50		12,50		11,88	0	11,25	0	11,25
18	Instalar Brise	R17	4,05		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,50		0,50		0,59		70,3	não	54,8
14,5	Inspeção Desmontagem 23° + 24° + Jardins	A4,5	0,59		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,50		0,50		0,59		70,3	não	54,8
A4,5	Ajuste vidros internos (23° + 24° + Jardins)	A4,5	0,42		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,36		0,36		0,42		70,3	não	54,8
R4,5	Reinspeção Desmontagem (23° + 24° + Jardins)	R4,5	0,59		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,50		0,50		0,59		70,3	não	54,8
R6,7	Inspeção reparo vidros internos (23° + 24° + Jardins)	R6,7	0,59		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,50		0,50		0,59		70,3	não	54,8
A6,7	Ajustar reparo vidros internos (23° + 24° + Jardins)	A6,7	8,22		84,0	não	67,5	não	71,5	não	7,00		7,00		8,22		70,3	não	54,8
R6,7	Reinspeção reparo vidros internos (23° + 24° + Jardins)	R6,7	0,59		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,50		0,50		0,59		70,3	não	54,8
R8,9	Inspeção Instalação vidros internos (23° + 24° + Jardins)	R8,9	0,59		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,50		0,50		0,59		70,3	não	54,8
A8,9	Ajustar Instalação vidros internos (23° + 24° + Jardins)	A8,9	0,61		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,52		0,52		0,61		70,3	não	54,8
R8,9	Reinspeção Instalação vidros internos (23° + 24° + Jardins)	R8,9	0,59		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,50		0,50		0,59		70,3	não	54,8
10	Inspeção Desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	I10	0,59		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,50		0,50		0,59		70,3	não	54,8
A10	Ajustar desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	A10	0,18		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,15		0,15		0,18		70,3	não	54,8
R10	Reinspeção desmontagem Terreo, 1° e 2° PAV	R10	0,59		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,50		0,50		0,59		70,3	não	54,8
I11	Inspeção reparo Terreo, 1° e 2° PAV	I11	0,59		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,50		0,50		0,59		70,3	não	54,8
A11	Ajustar reparo Terreo, 1° e 2° PAV	A11	4,11		84,0	não	67,5	não	71,5	não	3,50		3,50		4,11		70,3	não	54,8
R11	Reinspeção reparo Terreo, 1° e 2° PAV	R11	0,59		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,50		0,50		0,59		70,3	não	54,8
I12	Inspeção Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	I12	0,06		84,0	não	67,5	não	71,5	não	0,05		0,05		0,06		70,3	não	54,8
A12	Ajustar Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	A12	0,59		85,0	não	68,5	não	72,5	não	0,50		0,50		0,59		71,3	não	55,8
R12	Reinspeção Instalação Terreo, 1° e 2° PAV	R12	0,59		85,0	não	68,5	não	72,5	não	0,50		0,50		0,59		71,3	não	55,8
I13	Ajustar desmontagem vidro externo	I13	0,31		0,29	0	0,27	0	0,25	0	0,26		0,26		0,29		0,27	0	0,27
R13	Reinspeção Desmontagem Vidro Externo	R13	0,59		0,56	0	0,53	0	0,48	0	0,50		0,50		0,59		0,56	0	0,53
I14	Inspeção Desmontagem do Brise	I14	0,59		0,56	0	0,53	0	0,48	0	0,50		0,50		0,59		0,56	0	0,53
A14	Ajustar Desmontagem do Brise	A14	0,66		0,63	0	0,59	0	0,53	0	0,56		0,56		0,66		0,63	0	0,59
R14	Reinspeção Desmontagem do Brise	R14	0,59		0,56	0	0,53	0	0,48	0	0,50		0,50		0,59		0,56	0	0,53
I16	Inspeção reparo Fachada Externa	I16	0,59		0,56	0	0,53	0	0,48	0	0,50		0,50		0,59		0,56	0	0,53
R16	Reinspeção reparo Fachada Externa	R16	8,46		8,03	0	7,61	0	6,94	0	7,20		7,20		8,46		8,03	0	7,61
A16	Ajustar reparo Fachada Externa	A16	0,59		0,56	0	0,53	0	0,48	0	0,50		0,50		0,59		0,56	0	0,53
I17	Inspeção Instalação Vidro Externo	I17	0,59		0,56	0	0,53	0	0,48	0	0,50		0,50		0,59		0,56	0	0,53
R17	Reinspeção Instalação Vidro Externo	R17	1,16		1,11	0	1,05	0	0,99	0	1,06		1,06		1,16		1,11	0	1,05
A17	Ajustar Instalação Vidro Externo	A17	0,59		0,56	0	0,53	0	0,48	0	0,50		0,50		0,59		0,56	0	0,53
R18	Reinspeção Instalação Vidro Externo	R18	0,59		0,56	0	0,53	0	0,48	0	0,50		0,50		0,59		0,56	0	0,53
A18	Ajustar Instalação do Brise	A18	0,74		0,70	0	0,67	0	0,60	0	0,63		0,63		0,74		0,70	0	0,67
R18	Reinspeção Instalação Brise	R18	0,59		0,56	0	0,53	0	0,48	0	0,50		0,50		0,59		0,56	0	0,53
			Fine 24/12/2025	Fine 07/11/2025	Fine 07/12/2025	Fine 07/11/2025	Fine 04/12/2025	Fine 18/11/2025											

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 16 – Resultados Análise 3**

<b>Distribuição</b>	<b>Variação Aplicada</b>	<b>Duração Total (dias)</b>	<b>Data de Término</b>
Normal	5%	294,96	05/12/2025
Exponencial	5%	346,31	26/01/2026
Mista	5%	324,04	04/01/2026
Normal	10%	309,00	20/12/2025
Exponencial	10%	362,8	11/02/2026
Mista	10%	339,47	19/01/2026
Normal	-5%	266,86	07/11/2025
Exponencial	-5%	313,33	24/12/2025
Mista	-5%	293,18	04/12/2025
Normal	-10%	252,92	24/10/2025
Exponencial	-10%	296,84	07/12/2025
Mista	-10%	277,75	18/11/2025

**Fonte:** Autoria própria.

Esta análise é relevante para compreender de que forma alterações diretas na duração das atividades críticas influenciam o cronograma e se há modificações no caminho crítico. De maneira geral, foi possível observar que essas atividades apresentam baixa sensibilidade a variações nos tempos, uma vez que o caminho crítico permaneceu o mesmo em todos os cenários analisados.

Nas situações em que houve acréscimo ou redução de 5% na duração das atividades críticas, a data de término sofreu pequenas variações, de apenas alguns dias, sem impacto relevante no planejamento geral. Já nas variações de 10% para mais ou para menos, foi identificado um adiantamento ou atraso de aproximadamente um mês na conclusão do projeto.

Um aspecto relevante é que, na condição com distribuição mista e aumento de dez por cento nas durações, a data final obtida coincidiu com 19/01/2026, exatamente igual à prevista pela empresa responsável pela execução da obra com base no acompanhamento do avanço físico.

Esse alinhamento entre os dados calculados e a realidade do projeto reforça a confiabilidade dos resultados obtidos, evidenciando que o modelo utilizado representa adequadamente o comportamento do cronograma e pode ser aplicado com segurança no apoio ao planejamento e à tomada de decisão.

#### 4.5 Discussão de Resultados

Com base nos resultados obtidos, foi possível perceber como a aplicação do PERT/CPM, aliada às análises de sensibilidade, trouxe uma visão mais completa e confiável do cronograma da obra. Um dos principais pontos observados foi a estabilidade do caminho crítico, que se manteve o mesmo após diferentes variações de parâmetros, reforçando a importância dessas atividades para o cumprimento do prazo final.

A literatura reforça o papel fundamental do caminho crítico para a gestão de projetos. Autores como Tubino (2005) e Vieira (2011) destacam que, ao identificar corretamente esse conjunto de atividades, é possível direcionar esforços de forma mais estratégica, priorizando aquilo que realmente impacta o prazo total. Com isso, nos resultados apresentados, é possível perceber que mesmo com tempos mais otimistas ou pessimistas, ou com ajustes pontuais nas tarefas críticas, o cronograma demonstrou uma boa margem de segurança, principalmente quando utilizamos a distribuição mista que, por sinal, refletiu melhor a realidade observada em campo.

Outro ponto relevante está na comparação entre os diferentes cenários testados. A distribuição Exponencial apresentou maior sensibilidade às variações, o que era esperado por sua característica de gerar caudas longas. Já a distribuição Normal manteve os resultados praticamente estáveis, o que mostra que, apesar de útil, ela pode subestimar os riscos em obras com maior variabilidade nas tarefas. A distribuição Mista acabou se destacando por equilibrar essas duas abordagens, sendo mais realista e segura para esse tipo de projeto.

Do ponto de vista prático, esse estudo mostra que a aplicação dessas ferramentas, especialmente com o apoio das análises de sensibilidade, pode contribuir muito com o dia a dia de obras similares. O modelo permite prever atrasos, testar alternativas e entender com mais clareza quais atividades precisam ser monitoradas de perto. Isso é essencial em projetos como este, que envolvem fachadas, prazos apertados e intervenções em prédios ocupados, onde os impactos de um adiamento no cronograma são ainda maiores.

Além disso, do ponto de vista teórico, o trabalho contribui para o fortalecimento do uso de ferramentas clássicas como o PERT/CPM em um contexto ainda pouco explorado na literatura voltada para projetos de fachada. A maioria dos estudos foca em grandes construções ou projetos novos, enquanto este caso traz uma aplicação direta em construções já existentes, com todas as suas restrições e desafios. Com isso, buscamos ampliar o debate sobre o uso dessas metodologias na construção civil, mostrando que elas são sim adaptáveis, úteis e relevantes para tomadas de decisão mais assertivas e seguras.

## 5. Conclusão

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve por objetivo avaliar a confiabilidade do cronograma de revitalização da fachada do edifício-sede de uma companhia petrolífera, estruturado mediante a metodologia PERT/CPM e submetido a três análises de sensibilidade. A rede elaborada — dezoito atividades principais alinhadas a serviços de apoio — resultou em uma duração base de 308 dias e revelou um caminho crítico concentrado nas frentes de desmontagem de brises, instalação de módulos de vidro e inspeções finais. As perturbações introduzidas nos parâmetros estatísticos (desvio-padrão ou  $\lambda$ ), nos quantis otimista/pessimista e nos próprios Tempos Esperados das tarefas críticas demonstraram que a duração global variou no máximo cinco dias, sem que houvesse migração de atividades para dentro ou para fora do caminho crítico; as elasticidades permaneceram abaixo de 0,25, classificando o cronograma como estruturalmente robusto.

Esses resultados confirmam a contribuição prática do estudo mostrando que, mesmo com dispersões ampliadas ou percepções de risco mais conservadoras, o sequenciamento proposto mantém-se estável e absorve oscilações realistas de produtividade — o que é valioso para obras de fachada, onde atrasos costumam traduzir-se em custos adicionais de andaimes e balancins. O emprego exclusivo de planilha eletrônica reforça a exequibilidade da metodologia em organizações que não dispõem de softwares avançados de planejamento.

Algumas limitações devem, entretanto, ser reconhecidas. O modelo concentrou-se na dimensão temporal, não incorporando custos, disponibilidade de mão de obra em múltiplos turnos ou interferências de contratos paralelos. Além disso, as cronometragens se basearam em amostras restritas, ainda que suficientes para definir a variabilidade dos processos principais.

Considerando os resultados obtidos, recomenda-se que, durante a execução, a equipe de gestão concentre o monitoramento nas atividades críticas identificadas, atualize semanalmente as folgas para detectar eventuais tendências de encurtamento e estabeleça cláusulas de desempenho com fornecedores de vidros e brises — componentes responsáveis por mais de 70 % do uso dos balancins. Pesquisas futuras podem integrar custo e prazo em uma única rede, ampliar a base de durações com dados de obras semelhantes e desenvolver painéis de acompanhamento em tempo real que combinem avanço físico e consumo de folga.

Em síntese, a aplicação combinada do PERT/CPM e dos testes de sensibilidade produziu um cronograma realista e resiliente, apto a orientar decisões gerenciais e servir de referência metodológica para projetos análogos na construção voltada ao setor petrolífero.

## 5. Referências

- ALMEIDA, Erick da Silva; VOLSKI, Isabela. Aplicação de rede PERT/CPM na construção civil: modelos para obras de pequeno porte. *Revista Científica Multidisciplinar*; v. 22, n. 2, p. 175-187, 2021.
- BARBOZA, Leonardo da Silva. Aplicação da simulação de Monte Carlo na análise de incerteza temporal em projetos de engenharia civil. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*; v. 2, n. 3, p. 71-83, 2017.
- BARRA, Newton de Souza; et al. Aplicação do método PERT/CPM na construção civil. *Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente*; v. 4, n. 1, p. 89-106, 2013.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. PIB da construção confirma projeção da CBIC e tem queda de 0,5 % em 2023. Brasília: CBIC, 2024. Disponível em: <https://cbic.org.br>. Acesso em: 8 jun. 2025.
- GANTT, Henry Laurence. *Work, wages, and profits*. New York : Engineering Magazine, 1910.
- GUEDES, Terezinha Aparecida; MARTINS, Ana Beatriz Tozzo; ACORSI, Clédina Regina Lonardan; JANEIRO, Vanderly. *Estatística descritiva*. São Paulo : Instituto de Matemática e Estatística – USP, 2018.
- HELENE, Paulo. A importância do conhecimento sobre durabilidade do concreto no Brasil. *Seminários IBRACON*. São Paulo: UFRGS, 2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/79846/000901751.pdf>
- KARABULUT, Kaan. Risk and sensitivity analysis in project management using Monte Carlo simulation and PERT/CPM techniques. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*; v. 7, n. 11, p. 222-234, 2017.
- KERZNER, Harold. *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. 14. ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2022.
- LIMA, Iasmin de Azevedo; BEZERRA, Leandro do Nascimento. Aplicação das metodologias PERT/CPM na construção civil: um estudo de caso. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*; v. 2, n. 10, p. 48-64, 2021.

MICROSOFT CORPORATION. *Microsoft Project*. Versão 2021. Redmond : Microsoft, 2021.

MCKINSEY e COMPANY. *Imagining construction's digital future*. New York: McKinsey & Company, 2016. Disponível em: [https://www.mckinsey.com/~/\\_/media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/imagining%20constructions%20digital%20future/imagining-constructions-digital-future.pdf](https://www.mckinsey.com/~/_/media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/imagining%20constructions%20digital%20future/imagining-constructions-digital-future.pdf). Acesso em: 4 jun. 2025.

NORO, Gustavo. Utilização de práticas de gestão de projetos na construção civil: análise da realidade brasileira. *Revista Gestão & Tecnologia de Projetos*; v. 7, n. 1, p. 33-50, 2012.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE – PMI. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition*. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2021.

RODRIGUES, Patrícia; JESUS, Rildo; OLIVEIRA, Carlos. A importância do gerenciamento de projetos na construção civil. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*; v. 9, n. 4, p. 52-67, 2019.

RSTUDIO TEAM. *RStudio: Integrated Development Environment for R*. Versão 2025. Boston, MA: Posit Software, PBC, 2025. Disponível em: <https://posit.co>. Acesso em: 27 jun. 2025.

SANTOS, Lucas Hilgert. *Aplicação do método PERT/CPM na construção civil*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

TUBINO, Dalvio Ferrari. *Planejamento e controle da produção: teoria e prática*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

TUBINO, Dalvio Ferrari. *Administração da produção: fundamentos e sistema*. São Paulo: Atlas, 2005.

VERGARA, Elen Cristina; TEIXEIRA, Daniela G.; YAMANARI, Gabriel. Análise de riscos e criticidade de atividades através da aplicação dos métodos PERT/CPM e Monte Carlo. *Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis*; v. 4, n. 2, p. 29-41, 2017.

VIEIRA, Felipe Campos. *Aplicação de PERT/CPM em projetos de engenharia do segmento siderúrgico com o uso de simulação de Monte Carlo*. 2011. Monografia (Especialização em

Estatística com Ênfase em Indústria e Mercado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Estatística, Belo Horizonte, 2011.