

Planeamento de lajes estruturais: integração dos tempos de execução com recurso à simulação Monte Carlo

Matheus Mendes de Almeida

Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia da Construção no âmbito da Dupla Diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão

Orientada por:

Professor Doutor Rui Alexandre Figueiredo de Oliveira

Bragança

2025

Matheus Mendes de Almeida

Planeamento de lajes estruturais: integração dos tempos de execução com recurso à simulação Monte Carlo

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança em cumprimento parcial dos requisitos para o grau de Mestre em Engenharia da Construção em cooperação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná no âmbito do programa de duplo diploma.

Supervisores:

Rui Alexandre Figueiredo de Oliveira

Bragança

2025

" Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá..."

Ayrton Senna.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo dessa jornada. Sem Sua graça, nada disso seria possível.

Quero expressar minha profunda gratidão aos meus pais, Sandra e Luiz, por seu amor incondicional, apoio constante e por acreditarem em mim em todos os momentos. Agradeço também ao meu irmão, Luiz Fernando, por sua amizade e encorajamento. Minha família como um todo sempre foi uma fonte de inspiração e suporte, e sou eternamente grato por tudo que fizeram por mim.

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), minha instituição de origem, por proporcionar uma base sólida e um ambiente propício ao desenvolvimento acadêmico. Também sou imensamente grato ao Instituto Politécnico de Bragança (IPB), onde realizo a dupla diplomação e apresento esta dissertação, pela oportunidade e pelos recursos oferecidos.

Ao professor Rui Oliveira, meu orientador, dedico um agradecimento especial por sua orientação, paciência e pelos valiosos ensinamentos. Sua expertise e apoio foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo suporte, compartilhando momentos de alegria e ajudando a superar os desafios, meu sincero agradecimento. A amizade de vocês é essencial e tornou essa caminhada muito mais leve e significativa.

Muito obrigado a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação.

RESUMO

A construção enfrenta grandes desafios na gestão de tempo, no qual integra aspectos críticos para o sucesso dos projetos. Este estudo de investigação propõe uma análise comparativa entre diferentes sistemas de laje – incluindo laje maciça, vigotas protendidas, *Steel Deck* e lajes alveolares – utilizando o *Critical Path Method* (CPM), *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) e Simulação de Monte Carlo para incorporar as incertezas, num cenário brasileiro.

A pesquisa está dividida em três etapas. Primeiro, uma revisão bibliográfica sobre planejamento e controle de projetos, explorando o uso do CPM, PERT e Simulação de Monte Carlo.

Por meio de um estudo de caso, na segunda etapa, é apresentada uma recolha detalhada de dados por meio de um formulário dirigido a técnicos de obra, procurando identificar a duração de cada etapa dos processos construtivos. Nessa etapa, também será coletado as durações das atividades com base em coeficientes de produtividade de mão de obra (RUP's) (Razão Unitária de Produtividade), extraídos das tabelas SINAPI. Esses dados serão usados para a criação dos cronogramas de cada sistema.

Por fim, na terceira etapa, envolve a aplicação da Simulação de Monte Carlo aos cronogramas realizados, em conjunto com o CPM e PERT (aplicando CPM), integrando as incertezas para uma visão mais completa.

O estudo oferece uma comparação bem fundamentada entre os sistemas construtivos, destacando a gestão de tempo, contribuindo como uma base sólida para decisões estratégicas na construção. Além disso, os resultados poderão servir como referência para estudos futuros na área de planejamento e controle de projetos que envolvam esta tipologia de lajes estruturais.

Palavras-chave: planejamento de projetos, gestão de tempo, gestão de custos, sistemas construtivos, CPM, PERT, simulação de Monte Carlo.

ABSTRACT

Construction faces significant challenges in time management, which integrates critical aspects for project success. This research study proposes a comparative analysis of different slab systems — including solid slab, prestressed joist slabs, Steel Deck, and hollow core slabs — using the Critical Path Method (CPM), Program Evaluation and Review Technique (PERT), and Monte Carlo Simulation to incorporate uncertainties, in a Brazilian scenario.

The research is divided into three stages. First, a literature review on project planning and control is conducted, exploring the use of CPM, PERT, and Monte Carlo Simulation.

Through a case study in the second stage, a detailed data collection is presented using a survey directed at construction professionals, aiming to identify the duration of each stage of the construction processes. In this stage, activity durations will also be collected based on labor productivity coefficients (RUPs – Unit Productivity Ratios) extracted from SINAPI tables. These data will be used to create the schedules for each slab system.

Finally, the third stage involves applying Monte Carlo Simulation to the prepared schedules, in conjunction with CPM and PERT (applying CPM), integrating uncertainties to provide a more comprehensive view.

The study offers a well-founded comparison between the construction systems, highlighting time management and serving as a solid foundation for strategic decision-making in construction. Moreover, the results may serve as a reference for future studies in the field of project planning and control involving this type of structural slab.

Keywords: project planning, time management, cost management, construction systems, CPM, PERT, Monte Carlo simulation.

ÍNDICE

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
Índice de Tabelas	xi
Índice de Figuras	xiv
Lista de Abreviaturas, Acrônimos e Unidades de Medida	xx
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Contexto.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo Geral	3
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Metodologia de investigação	4
1.4 Estruturação da Dissertação.....	4
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
2.1 Planejamento na Construção.....	6
2.2 Gerenciamento de Projetos	7
2.2.1 Projeto.....	7
2.2.2 Fases do projeto	8
2.3 Áreas de conhecimento do gerenciamento de projetos.....	9
2.3.1 Gerenciamento do Tempo	10
2.3.1.1 Estrutura Analítica do Projeto (EAP).....	10
2.3.1.2 Alocação de Recursos	11
2.3.1.3 Tempo das tarefas.....	11
2.3.1.4 Sequência de Atividades	15
2.3.1.5 Montagem do diagrama de rede	17
2.3.1.6 Diagrama de Gantt	18
2.3.2 Métodos de Gerenciamento de Tempo.....	18

2.3.2.1	Método do Caminho Crítico - Critical Path Method (CPM).....	19
2.3.2.2	PERT - Program Evaluation and Review Technique.....	20
2.3.3	Gerenciamento dos Riscos	21
2.3.3.1	Simulação de Monte Carlo (SMC).....	22
2.3.3.2	Construção e Etapas do Método.....	23
3	METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO.....	26
3.1	Contexto da Metodologia.....	27
3.1.1	Considerações Iniciais	27
3.1.2	Metodologia desenvolvida no Estudo.....	28
3.1.3	Considerações Iniciais do estudo.....	29
3.1.4	Estudo desenvolvido.....	29
3.1.4.1	Cenários objeto de estudo	29
3.1.4.2	Tipologias de lajes consideradas nos cenários	30
3.1.4.3	Dimensões consideradas para os cenários de cada laje.....	32
3.1.5	Cronogramas e Métodos de Gestão de Tempo e Risco	33
3.1.5.1	Abordagem ao Microsoft Project	33
3.1.5.2	Desenvolvimento e encadeamento de atividades	36
3.1.5.3	Desenvolvimento do PERT	36
3.1.6	Desenvolvimento da Sim. de Monte Carlo (Software Risk Simulator) ...	37
3.2	Produtividade e RUP's entre Lajes	40
3.3	Estudo de Caso: Desenvolvimento do Cenário A.....	41
3.3.1	Questionário Aplicado	41
3.3.2	Desenvolvimento do questionário	42
3.3.2.1	Questões do Questionário.....	43
3.3.2.2	Aplicação do questionário.....	44
3.3.3	Tratamento de Dados obtidos	44
3.4	Tabelas SINAPI: Desenvolvimento do Cenário B	45

3.4.1	Composições de Serviço.....	46
3.4.1.1	Lajes Maciças	46
3.4.1.2	Laje <i>Steel Deck</i>	50
3.4.1.3	Vigotas pré-moldadas protendidas	51
3.4.1.4	Alveolares.....	51
3.4.1.5	Cálculo das durações com as tabelas SINAPI.....	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
4.1	Análise dos dados	54
4.1.1	Laje Maciça	54
4.1.1.1	Laje maciça para vão de 5 metros	54
4.1.1.2	Laje maciça para vão de 4 metros	56
4.1.1.3	Laje maciça para vão de 3 metros	58
4.1.2	Laje <i>Steel Deck</i>	60
4.1.2.1	Laje <i>Steel deck</i> para vão de 5 metros	60
4.1.2.2	Laje <i>Steel deck</i> para vão de 4 metros	62
4.1.2.3	Laje <i>Steel deck</i> para vão de 3 metros	63
4.1.3	Laje de Vigotas.....	65
4.1.3.1	Laje aligeirada para vão de 5 metros.....	65
4.1.3.2	Laje aligeirada para vão de 4 metros.....	67
4.1.3.3	Laje aligeirada para vão de 3 metros.....	69
4.1.4	Laje Alveolar	71
4.1.4.1	Laje alveolar para vão de 5 metros.....	71
4.1.4.2	Laje alveolar para vão de 4 metros.....	72
4.1.4.3	Laje alveolar para vão de 3 metros.....	74
4.2	Análise Comparativa.....	76
4.2.1	Comparativo entre durações totais entre os sistemas construtivos.....	76
4.2.2	Produtividade	77

4.2.3	Comparativo em termos de análise de riscos com a SMC	81
4.2.3.1	Geração de Histogramas – Aplicação para a Laje Maciça.....	82
4.2.3.2	Probabilidades de Sucesso para todos os sistemas estudados	88
4.2.4	Desempenho Global	94
5	CONCLUSÃO	96
5.1	Principais Conclusões	96
5.2	Contributos do estudo	97
5.3	Limitações.....	99
5.4	Futuras linhas de investigação	100
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Resumo dos Cenários	30
Tabela 2 - Características de lajes	30
Tabela 3 - Distribuição de áreas conforme tipo de laje	32
Tabela 4 - Respostas obtidas das lajes de vigotas protendidas.....	44
Tabela 5 - Quantitativo de materiais para laje de 3,00m de vão	47
Tabela 6 - Quantitativo de materiais para laje de 4,00m de vão	47
Tabela 7 - Quantitativo de materiais para laje de 5,00m de vão	47
Tabela 8 - Tabela de quantitativo de aço para lajes maciças.....	48
Tabela 9 - Coeficientes de serviços de mão de obra para a etapa de montagem das formas das lajes maciças.....	48
Tabela 10 - Diâmetros e coeficientes de mão de obra de armação para as lajes maciças	49
Tabela 11 - Durações de horas trabalho para armação de lajes.....	49
Tabela 12 – Coeficientes para a etapa de concretagem das lajes maciças	50
Tabela 13 - Duração Laje Maciça com vão de 5 metros (obtida por questionário)	54
Tabela 14- Duração Laje Maciça com vão de 5 metros (SINAPI).....	55
Tabela 15 – Cenários pessimista e otimista da Laje Maciça com vão de 5 metros (obtido por questionário).....	56
Tabela 16 – Duração Laje Maciça com vão de 4 metros (obtida por questionário).....	56
Tabela 17 - Duração Laje Maciça com vão de 4 metros (SINAPI).....	57

Tabela 18 – Cenários pessimista e otimista de Lajes Maciças com vão de 4 metros (obtido por questionário).....	58
Tabela 19 - Duração Laje Maciça com vão de 3 metros (obtida por questionário)	58
Tabela 20 - Duração Laje Maciça com vão de 3 metros (SINAPI).....	58
Tabela 21 – Cenários pessimista e otimista de Laje Maciça com vão de 3 metros (obtido por questionário).....	59
Tabela 22 - Duração Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 5 metros (obtido por questionário)..	60
Tabela 23 - Duração Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 5 metros (SINAPI)	60
Tabela 24 – Cenários pessimista e otimista de Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 5 metros (obtido por questionário)	61
Tabela 25 - Duração Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 4 metros (obtido por questionário)..	62
Tabela 26 - Duração Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 4 metros (SINAPI)	62
Tabela 27 – Cenários pessimista e otimista de Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 4 metros (obtido por questionário)	63
Tabela 28 - Duração Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 3 metros (obtido por questionário)..	63
Tabela 29 - Duração Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 3 metros (SINAPI)	64
Tabela 30 – Cenários pessimista e otimista de Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 3 metros (obtido por questionário)	65
Tabela 31 - Duração Laje de Vigotas com vão de 5 metros (obtido por questionário)..	66
Tabela 32 - Duração Laje de Vigotas com vão de 5 metros (SINAPI)	66
Tabela 33 – Cenários pessimista e otimista de Laje de Vigotas com vão de 5 metros (obtido por questionário)	67
Tabela 34 - Duração Laje de Vigotas com vão de 4 metros (obtido por questionário)..	67
Tabela 35 - Duração Laje de Vigotas com vão de 4 metros (SINAPI)	68

Tabela 36 – Cenários pessimista e otimista de Laje de Vigotas com vão de 4 metros (obtido por questionário)	69
Tabela 37 - Duração Laje de Vigotas com vão de 3 metros (obtido por questionário)..	69
Tabela 38 - Duração Laje de Vigotas com vão de 3 metros (SINAPI)	69
Tabela 39 – Cenários pessimista e otimista de Laje de Vigotas com vão de 3 metros (obtido por questionário)	70
Tabela 40 - Duração Lajes Alveolares com vão de 5 metros (obtido por questionário)	71
Tabela 41 - Duração Lajes Alveolares com vão de 5 metros (SINAPI).....	71
Tabela 42 – Cenários Lajes Alveolares com vão de 5 metros (obtido por questionário)	72
Tabela 43 - Duração Lajes Alveolares com vão de 4 metros	72
Tabela 44 - Duração Lajes Alveolares com vão de 4 metros (SINAPI).....	73
Tabela 45 – Cenários pessimista e otimista de Lajes Alveolares com vão de 4 metros.	74
Tabela 46 - Duração Lajes Alveolares com vão de 3 metros (obtido por questionário)	74
Tabela 47 - Duração Lajes Alveolares com vão de 3 metros (SINAPI).....	74
Tabela 48 – Cenários pessimista e otimista de Lajes Alveolares com vão de 3 metros (obtido por questionário)	75
Tabela 49 - Duração Global - Provável (Questionário).....	76
Tabela 50 - Duração Global – Estimada (PERT)	76
Tabela 51 - Duração Global (SINAPI)	76
Tabela 52 - Horas trabalho (Questionário)	78
Tabela 53 - Horas trabalho (PERT)	78
Tabela 54 - Horas trabalho (SINAPI).....	78

Tabela 55 – Probabilidade de Sucesso das Lajes e Vãos de acordo com a SMC (SINAPI x PERT).....	89
Tabela 56 - Probabilidade de Sucesso das Lajes e Vãos de acordo com a SMC (SINAPI x Questionário)	92
Tabela 57 - Desempenho e recomendações para os sistemas de lajes.....	95

Índice de Figuras

Figura 1 – Processos de um projeto.....	8
Figura 2 - Áreas de gerenciamentos de projetos.....	9
Figura 3 - Estrutura das fases do Gerenciamento do Tempo.....	10
Figura 4 - Exemplo de EAP.....	11
Figura 5- Duração de atividade de alvenaria em função da equipe.....	12
Figura 6 - Composição de Serviço	15
Figura 7 - Esquema de sequência de atividades	16
Figura 8 - Sequência de Atividades.....	17
Figura 9 - Método das Flechas	17
Figura 10 - Método dos Blocos	18
Figura 11 - Diagrama de Gantt.....	18
Figura 12 - Distribuição normal	20
Figura 13 - Distribuição de probabilidade de uma data alvo.....	25
Figura 14 - Estrutura da Metodologia de Pesquisa.....	26
Figura 15 - Diagrama da metodologia.....	28
Figura 16 - Interface Ms Project.....	33

Figura 17 - Sequência das etapas de execução da laje inseridas no MS Project.....	34
Figura 18 - Janela de detalhes do MS Project	34
Figura 19 - Duração das tarefas e recursos no Ms Project	35
Figura 20 - Diagrama de Gantt no Ms Project.....	35
Figura 21 – Diagrama de Gantt e Representação do CPM.....	36
Figura 22 - Tabela para SMC na guia do Risk Simulator	38
Figura 23 - Painel de propriedades da simulação	39
Figura 24 - Dados de entrada para SMC	40
Figura 25 - Composição 100779 da SINAPI.....	50
Figura 26 - Composição 101959 da SINAPI.....	51
Figura 27 - Composição 97721 da SINAPI.....	52
Figura 28 - Composição 92767 da SINAPI.....	52
Figura 29 - Composição 103673 da SINAPI.....	53
Figura 30 – Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) - Laje Maciça vão de 5 metros (Autoria Própria, 2024).....	55
Figura 31 – Gráfico Gantt com Caminho Crítico (SINAPI) - Laje Maciça com vão de 5 metros	55
Figura 32 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje Maciça com vão de 4 metros.....	57
Figura 33 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (SINAPI) de Laje Maciça com vão de 4 metros	57
Figura 34 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje Maciça com vão de 3 metros.....	59

Figura 35 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Laje Maciça com vão de 3 metros (SINAPI).....	59
Figura 36 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 5 metros.....	61
Figura 37 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 5 metros (SINAPI).....	61
Figura 38 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 4 metros.....	63
Figura 39 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 4 metros (SINAPI).....	63
Figura 40 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 3 metros.....	64
Figura 41 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 3 metros (SINAPI).....	65
Figura 42 – Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje de Vigotas com vão de 5 metros.....	66
Figura 43 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Laje <i>Steel Deck</i> com vão de 5 metros (SINAPI).....	67
Figura 44 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje de Vigotas com vão de 4 metros.....	68
Figura 45 - Caminho Crítico de Laje de Vigotas com vão de 4 metros (SINAPI).....	68
Figura 46 – Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje de Vigotas com vão de 3 metros.....	70
Figura 47 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Laje de Vigotas com vão de 3 metros (SINAPI).....	70

Figura 48 -Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Lajes Alveolares com vão de 5 metros.....	72
Figura 49 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Lajes Alveolares com vão de 5 metros (SINAPI).....	72
Figura 50 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Lajes Alveolares com vão de 5 metros.....	73
Figura 51 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Lajes Alveolares com vão de 5 metros (SINAPI).....	73
Figura 52 - Gráfico de Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Lajes Alveolares com vão de 3 metros.....	75
Figura 53 – Gráfico de Gantt com Caminho Crítico de Lajes Alveolares com vão de 3 metros (SINAPI).....	75
Figura 54 -RUP (h/ m2) - Questionário x PERT x SINAPI – Vão de 5 metros.....	79
Figura 55 - RUP (h/ m2) - Questionário x PERT x SINAPI – Vão de 4 metros.....	79
Figura 56 - RUP (h/ m2) - Questionário x PERT x SINAPI – Vão de 3 metros.....	80
Figura 57 - Durações dos Sistemas com base na SINAPI.....	82
Figura 58 - Durações dos Sistemas com base no PERT.....	82
Figura 59 -Durações dos Sistemas com base no Questionário.....	83
Figura 60 - Histograma para vão de 5 metros (SINAPI).....	84
Figura 61 – Histograma para vão de 5 metros (Questionário)	84
Figura 62 - Histograma para vão de 5 metros (PERT)	85
Figura 63 – Histograma para vão de 4 metros (SINAPI)	85
Figura 64- Histograma para vão de 4 metros (Questionário)	86
Figura 65- Histograma para vão de 4 metros (PERT).....	86

Figura 66 - Histograma para vão de 3 metros (SINAPI).....	87
Figura 67 – Histograma para vão de 3 metros (Questionário)	87
Figura 68 - Histograma para vão de 3 metros (PERT)	88
Figura 69 – Prob. de Sucesso pela Simulação de Monte Carlo (SINAPI x PERT) – 5 metros	89
Figura 70 - Prob. de Sucesso pela Simulação de Monte Carlo (SINAPI x PERT) – 4 metros	90
Figura 71 – Prob. de Sucesso pela Simulação de Monte Carlo (SINAPI x PERT) – 3 metros	91
Figura 72 - Prob. de Sucesso pela Simulação de Monte Carlo (SINAPI x Questionário) – 5 metros	92
Figura 73 - - Prob. de Sucesso pela Simulação de Monte Carlo (SINAPI x Questionário) – 4 metros	93
Figura 74 - Prob. de Sucesso pela Simulação de Monte Carlo (SINAPI x Questionário) – 3 metros	94

Lista de Equações

1. Equação 1 - Cálculo da duração de atividade
2. Equação 2 – RUP
3. Equação 3 – Produtividade
4. Equação 4 – Produtividade Global
5. Equação 5 - Cálculo da data de término mais cedo
6. Equação 6 - Cálculo da data de término mais tarde
7. Equação 7 - Folga total
8. Equação 8 - Duração esperada
9. Equação 9 – Desvio Padrão
10. Equação 10 - Variância

Lista de Abreviaturas, Acrônimos e Unidades de Medida

Acrônimos

ADM	Arrow Diagramming Method
CPM	Critical Path Method
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
EAR	Estrutura Analítica do Riscos
FST	Fuzzy Set Theory
RUP	Razão Unitária de Produção
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PDM	Precedence Diagramming Method
PERT	Program Evaluation Review Technique
PMI	Project Management Institute
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil
SMC	Simulação de Monte Carlo
WBS	Work BreakDown Structure

Unidades de Medida

UN	Unidade
m	Metro
m²	metro quadrado
m³	metro cúbico
h	Hora
kg	Quilograma
d	Dia
Cento	cem unidades
h/m²	horas por metro quadrado
R\$/ m²	reais por metro quadrado
m²/ h	Metro quadrado por hora

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

A construção tem experimentado mudanças significativas recentemente impulsionadas pela concorrência intensa decorrente da globalização dos mercados, pela busca por produtos mais inovadores, pela rápida evolução das tecnologias e pelo aumento das expectativas dos clientes, principalmente no Brasil, onde foi desenvolvido o estudo.

Como resultado disso, para Mattos (2019), o planejamento e controle se tornaram fundamentais para as empresas do setor, que vêm se esforçando cada vez mais para aprimorar seus processos produtivos, implementando estratégias de gestão mais eficazes a fim de aumentar a produtividade. A gestão de projetos e obras se torna essencial para garantir um planejamento que assegure processos de qualidade, responsabilidade nas entregas, segurança, além de identificar e eliminar riscos.

A necessidade de aplicar técnicas como o *Critical Path Method* (CPM) e o *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), que auxilia na compreensão do tempo necessário para cada atividade de um projeto, possibilitando uma visão abrangente dele.

O *Project Management Institute* (2017), define o CPM como:

O método do caminho crítico é usado para estimar a duração mínima do projeto e determinar o grau de flexibilidade nos caminhos lógicos da rede dentro do modelo de cronograma. Essa técnica de análise de rede do cronograma calcula as datas de início mais cedo, término mais cedo, início mais tarde e término mais tarde de todas as atividades sem considerar quaisquer limitações de recursos, através da realização de uma análise de caminhos de ida e de volta através da rede do cronograma [...] (Project Management Institute, 2017)

Conforme John Ragel et al. (2021), PERT é uma ferramenta de engenharia que utiliza uma abordagem probabilística e é empregada em situações com alto grau de incerteza em relação ao período de atividade. Esta teve origem na Marinha dos Estados Unidos em 1958 como uma ferramenta para agendar o desenvolvimento de sistemas de armas.

Todavia, Mendonça (2020) concluiu que as datas de conclusão dos projetos tendem a ser otimistas, especialmente quando se baseiam em métodos determinísticos, como é o caso do e PERT, isso pois, devido à complexidade dos processos construtivos, não é

possível prever os contratempos encontrados em obra, o que acarreta erros de cronograma.

Nesse âmbito, a necessidade de se avaliar outras técnicas, métodos ou simulações, é necessário para que esse cenário tenha mais assertividade, suprimindo a atual deficiência na gestão de cronogramas. O mesmo autor ainda revela que tanto o CPM quanto o PERT podem ser aprimorados com análises estocásticas complementares, como a Simulação de Monte Carlo, melhorando assim a precisão no planejamento dos cronogramas na construção civil.

A Simulação de Monte Carlo (SMC) começou a ganhar destaque por volta de 1944, durante a Segunda Guerra Mundial, no Projeto de Manhattan. Segundo Harrison (2009), a simulação foi desenvolvida por dois matemáticos que estiveram envolvidos no projeto, Stanislaw Ulam e John von Neumann, e que contribuíram para o desenvolvimento de armas nucleares e da primeira bomba atômica.

Dessa maneira, observou-se no estudo de Alves de Oliveira et al. (2019), uma abordagem de gerenciamento do cronograma, baseada na combinação do PERT e no Método de Simulação Monte Carlo, para auxiliar gestores de projetos do setor da construção a reduzirem as incertezas nas durações esperadas de um projeto, enquanto o cronograma ainda estiver sendo planejado. O autor desenvolveu um cronograma de obras para um edifício residencial de 15 pavimentos com o auxílio de especialistas de cinco empresas diferentes ligadas a construção civil.

Assim sendo, era esperado que o planejamento fosse mais preciso quando avaliado pela simulação. Apesar dos resultados encontrados serem relativamente melhores, as probabilidades de conclusão da obra na data prevista ainda representavam alto grau de risco e incerteza: 41,81% na data mais provável apontada pelo método PERT.

A partir dessa problemática, o objetivo deste trabalho é propor uma abordagem de gerenciamento de cronograma que combine o *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) com o Método da Simulação de Monte Carlo (SMC), a fim de ajudar os gestores de projetos na construção civil a reduzir as incertezas nas durações esperadas do projeto, com uma abordagem direta a diversos sistemas construtivos de lajes existentes atualmente, durante o planejamento do cronograma dessa etapa, bem como, alinhado a isso, verificar sua eficiência em termos de mão de obra, em função das durações encontradas.

Neste estudo, inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica abrangente sobre os temas pertinentes ao planejamento de obras alinhados ao gerenciamento de projetos e cronogramas, bem como, as metodologias aplicadas mais comuns nesse aspecto. Em seguida, conduziu-se um estudo de caso, recorrendo a aplicação de um formulário, para identificar as durações pessimistas, prováveis e otimistas de obras, a qual foi possível a criação do PERT, a fim de criar um cronograma dos processos referentes as lajes com base mais realista.

Do mesmo modo, foi realizado também, um cronograma com base nas tabelas de índices, extraídas da SINAPI, que fornecem as composições de mão de obra. Tais índices (coeficientes) representam a parcela de tempo que o trabalhador necessita para executar um certo serviço. Em ambos os casos, foi realizado o CPM dos cronogramas para identificar a duração total do processo, conforme tipo de laje.

Assim, a criação deste trabalho reside em sua abordagem quantitativa e estocástica, para isso, foram realizadas as análises dos cronogramas elaborados (pelos formulários e cálculos), visando comparar as durações finais de cada laje, em termos de tempo total e eficiência por operador.

Finalmente, os mesmos cronogramas foram reestruturados seguindo a metodologia do Método de Simulação de Monte Carlo (SMC), permitindo a determinação de um intervalo mais provável para o prazo de duração de cada processo. Os dados foram organizados em tabelas e gráficos, de cada laje, para apresentar o índice de assertividade de cada método consoante, as datas prováveis e esperadas decorrentes do estudo de caso e a data estimada que teve como fonte as tabelas de coeficientes, facilitando assim a discussão objetiva dos resultados deste trabalho.

Por fim, o estudo contribui para a disseminação teórica de novos métodos de gerenciamento de projetos na construção civil, como a simulação de Monte Carlo. Além de poder realizar uma análise comparativa de qual tipo de laje é mais interessante de se trabalhar, atendendo a eficiência de mão de obra e duração.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral dessa dissertação é:

- Avaliar a viabilidade operacional da execução de diferentes tipos de lajes sob os aspectos de tempo de execução e eficiência de mão de obra, utilizando como base comparativa as técnicas CPM, PERT e Simulação de Monte Carlo.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos dessa dissertação são:

- Realizar, através de formulário dirigido a profissionais de obra, bem como, engenheiros civis, técnicos de obra, o levantamento das durações de execução de diferentes tipos lajes;
- Elaborar cronogramas de lajes a partir de tabelas de produtividade usuais na construção do estudo de caso, com o uso do *software* Ms Project;
- Comparar as durações entre diferentes tipos de lajes a partir das estimativas geradas pelo PERT;
- Analisar o uso de dados das tabelas de produtividade e custo de mão de obra, frente aos dados extraídos da pesquisa feita pelo estudo de caso;
- Avaliar os cronogramas em relação à probabilidade de atender à duração total estabelecida, pela SMC, por meio do *software* @RISK, conforme data estimada pelas tabelas de rendimentos, data provável e data esperada originadas da pesquisa decorrente do estudo de caso.

1.3 Metodologia de investigação

Este estudo adotou uma abordagem mista, com base em revisão bibliográfica e um estudo de caso. Foram analisados dois cenários: um com dados de um questionário aplicado a profissionais da construção (Cenário A), e outro baseado em coeficientes de produtividade da tabela SINAPI (Cenário B). Os dados serviram para criar cronogramas com o *Microsoft Project* e aplicar as metodologias CPM, PERT e Simulação de Monte Carlo, visando comparar o desempenho de diferentes sistemas de laje em termos de tempo e eficiência de mão de obra, relativamente as obras que acontecem no Brasil.

1.4 Estruturação da Dissertação

Essa dissertação está estruturada em cinco capítulos principais.

- Capítulo 1 – Introdução: apresenta o contexto do estudo, seus objetivos e justificativa.
- Capítulo 2 – Referencial Teórico: traz uma revisão da literatura sobre planejamento de obras, gerenciamento de projetos e sistemas construtivos.
- Capítulo 3 – Metodologia da Investigação: descreve os procedimentos adotados para a coleta e análise dos dados.
- Capítulo 4 – Resultados e Discussões: apresenta os resultados obtidos a partir das análises realizadas e suas interpretações.
- Capítulo 5 – Conclusão: resume as principais conclusões do estudo, suas limitações e sugestões para pesquisas futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo de revisão da literatura apresenta temáticas relevantes para a pesquisa, explorando de início o assunto mais abrangente para posteriormente concentrar-se no mais específico.

2.1 Planejamento na Construção

Para Akinradewo et al. (2022), o planejamento é fundamental para a execução de qualquer projeto na construção, devido aos inúmeros níveis de etapas a serem seguidas, é importante que se identifique, gereencie, aloque todas as informações, recursos e fluxos para que se execute uma obra da maneira mais eficiente.

Conforme Goldman (2004), o planejamento é responsável para sistematizar a centralização de informações e conhecimentos provenientes de diferentes áreas, a fim de direcioná-los de maneira eficiente na realização da obra.

Posto isso, numa visão geral, um bom planejamento, conforme o *Project Management Institute* (2017), traz várias vantagens para o sucesso de um projeto, tais como: alcançar os objetivos do negócio; atender às expectativas das partes interessadas; solucionar problemas em tempo hábil; otimizar o uso dos recursos.

Entretanto, infelizmente, muitos empreendimentos ainda não fazem um planejamento adequado e enfrentam alguns problemas, que vão desde prazos perdidos, orçamentos não cumpridos, baixa qualidade do produto, retrabalho até mesmo incapacidade de alcançar os objetivos do projeto.

Goldman (2004) caracterizou o planejamento como um setor dentro de uma empresa. O autor relata sobre o quanto o roteiro se relaciona com os outros setores, apresentando as características do planejamento técnico (Quadro 1).

Quadro 1 – Características do Planejamento Técnico

1. Setor de planejamento e setor de arquitetura	Tem impacto nas especificações da obra, considerando a facilidade de execução, qualidade e custo dos materiais. Coordena-se o projeto arquitetônico com outros projetos e busca, em colaboração com a equipe, por materiais e serviços mais econômicos.
2. Setor de planejamento e setor financeiro	No setor financeiro, o planejamento avalia a viabilidade econômica do empreendimento, calculando o custo da construção com base no orçamento detalhado e cronograma físico-financeiro.
3. O setor de planejamento e o setor de contabilidade	No setor contábil, o usa-se dados de despesas reais para monitorar os custos da obra, organizando-as em um sistema de codificação mensal e fornecendo dados para apoio à fiscalização contábil.

4. O setor de planejamento e o setor de processamento de dados	Computadores são essenciais no planejamento para orçamentos, cronogramas, controle de materiais, contratos e relatórios, inclusive em pequenas empresas. O uso de tecnologia também cresce em projetos com o BIM (Building Information Modeling).
5. O setor de planejamento e o setor de tesouraria	O planejamento fornece à tesouraria previsões de despesas para assegurar o cumprimento das obrigações financeiras da empresa. Previsões imprecisas podem gerar problemas para o empreendimento e a empresa.
6. O setor de planejamento e o setor jurídico	O setor de planejamento envia a documentação técnica necessária para o empreendimento, incluindo orçamento, cronograma físico-financeiro, especificações e cronograma detalhado, que compõem o dossiê entregue às repartições competentes.
7. O setor de planejamento e o setor de compras	O planejamento atua no controle e fornecimento de informações para compras, analisando propostas, comparando com o orçamento e enviando observações. Este apoia a adoção de concorrência e integra Planejamento, Obra e Compras para conferir pedidos e evitar perdas desnecessárias.
8. O setor de planejamento e o setor de engenharia-obras	O planejamento é essencial para o sucesso do empreendimento, gerindo previsões de despesas, documentação, cronograma e suporte a compras. Coordena-se com a execução, enviando dados mensais e otimizando materiais, técnicas e soluções para a obra.

Adaptado de (Goldman, 2004)

2.2 Gerenciamento de Projetos

A abordagem de gestão de projetos está intimamente ligada ao planejamento, nesse contexto, Rodrigues De Sousa (2012), relata que na construção, o gerenciamento de projetos pode estar relacionado à coordenação das diversas especialidades envolvidas na obra, incluindo arquitetura, engenharia, elétrica, hidráulica, entre outras, visando garantir a compatibilização e a eficiência do projeto como um todo.

Já na gestão de empresas, o gerenciamento de projetos pode envolver desde a definição de objetivos e metas até a alocação de recursos, o acompanhamento de prazos e custos, e a análise dos resultados, visando garantir a entrega de valor e o alcance dos objetivos estratégicos da organização.

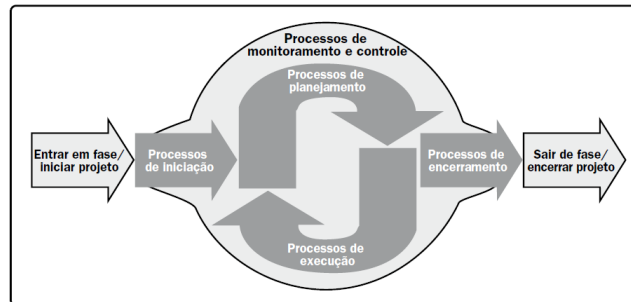
2.2.1 Projeto

De acordo com a NBR ISO 9000:2015, define-se projeto como:

"[...] um conjunto de atividades que inclui a concepção, planejamento, execução, controle e encerramento de um trabalho único e temporário, com o objetivo de criar um produto ou serviço específico que atenda às necessidades do cliente e aos requisitos estabelecidos." (NBR ISO 9000:2015)

Nesse âmbito um projeto envolve um ciclo de etapas que, conforme a Figura 1, inicia-se por uma fase de iniciação, depois uma ciclagem entre planejamento e execução, ambos sendo monitorados, e assim, finalizados.

Figura 1 – Processos de um projeto



(Project Management Institute, 2017)

2.2.2 Fases do projeto

De acordo com Candido et al. (2012), as fases do projeto podem ser definidas em: Inicialização, Planejamento, Execução, Controle e Encerramento.

- Inicialização

Conforme Nový et al. (2012), a fase de início levanta as necessidades físicas, financeiras e de pessoal do projeto. A alta gerência avalia sua viabilidade e alinhamento com as estratégias da empresa, aprovando apenas projetos com qualidade, prazos e custos competitivos.

- Planejamento

Conforme Cretu et al., (2011), nesta fase são definidos os caminhos para alcançar os objetivos do projeto, incluindo identificação de partes interessadas, escopo, estratégia (como PERT/CPM), criação das tarefas, cronogramas, custos e planejamento de comunicações, compras, riscos, qualidade e recursos humanos.

- Execução

Nessa fase, o projeto é executado e concluído, e geralmente consome a maior parte do orçamento. As atividades incluem gerenciamento da execução, garantia da qualidade, controle de fornecedores e desenvolvimento da equipe de projeto.(Cruz et al., 2020)

- Controle / Monitoramento

Essa etapa é essencial identificar problemas e realizar correções. Para Medeiros et al. (2017), é nela que se aponta quais as atividades carecem de controle de desempenho, monitoramento de riscos, administração de contratos e gestão de partes interessadas e da equipe.

- Encerramento

O encerramento do projeto, conforme Allen & Hardin (2008), inclui atividades como a aceitação formal dos patrocinadores, investidores, agradecimentos à equipe, reunião de lições aprendidas, transição para manutenção, encerramento administrativo e arquivamento de documentos relevantes, para assim, consolidar os resultados e evitar erros repetidos, garantindo-se a integração do produto aos processos.

2.3 Áreas de conhecimento do gerenciamento de projetos

As áreas de conhecimento em gerenciamento de projetos são campos de especialização que contêm um conjunto de processos relacionados aos seus respectivos temas específicos. Estas são: integração, escopo, tempo, custos, qualidade, recursos humanos, comunicação, riscos, aquisições e partes interessadas. A compreensão dessas áreas é essencial para o sucesso na gestão de projetos, como ilustra a Figura 2.

Figura 2 - Áreas de gerenciamentos de projetos



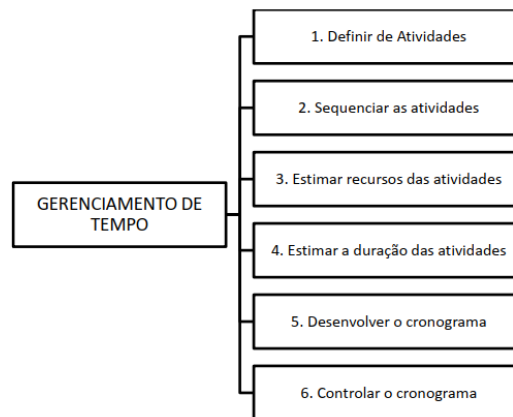
(Project Management Institute, 2017)

Dessa maneira, é possível classificar os elementos essenciais de um projeto, o que facilita a padronização dos procedimentos específicos para cada campo de conhecimento.

2.3.1 Gerenciamento do Tempo

Nesse contexto, o objetivo do gerenciamento do tempo é assegurar a execução pontual de cada etapa do projeto, garantindo o cumprimento dos prazos e da programação estabelecida. Além disso, essa prática permite acompanhar de forma efetiva o andamento das atividades ao longo do tempo, conforme demonstra a Figura 3.

Figura 3 - Estrutura das fases do Gerenciamento do Tempo



Ramos (2019)

Baseando-se na figura 3, a seguir serão detalhadas as características de cada componente que pertence ao estudo de gerenciamento:

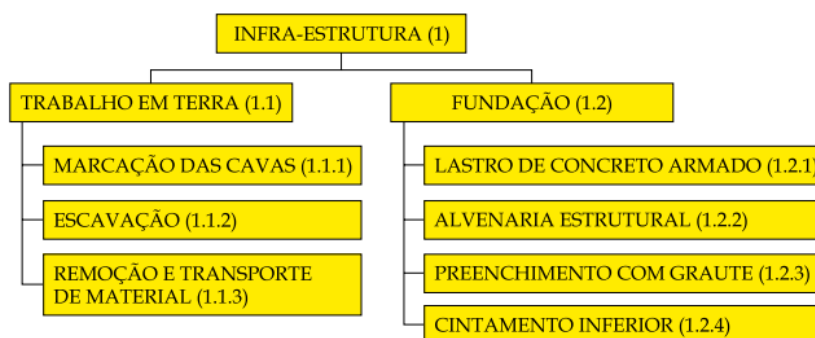
2.3.1.1 Estrutura Analítica do Projeto (EAP)

Para identificar as atividades de um projeto, Mattos (2019) explica que é comum utilizar a Estrutura Analítica do Projeto (EAP) ou WBS (Work Breakdown Structure), do inglês, que é usada para dividir a obra em pacotes menores, compondo o escopo de forma hierárquica, o que organiza o desdobramento do trabalho e facilita revisões e correções. Para isso, a identificação das atividades deve ser feita em conjunto para evitar omissões que possam impactar tempo e custos.

De acordo com Sears et al. (2015), a EAP é estruturada de modo que cada nível representa um refinamento do escopo, em que as subtarefas cobrem 100% das atividades do nível imediatamente superior. Além disso, o custo de cada elemento em um nível é igual à soma dos elementos no nível subsequente.

Esse modelo hierárquico permite uma visão completa do projeto, assegurando que todas as atividades e custos estejam detalhados e organizados, nos quais são essenciais para se perceber o fluxo e processamento das tarefas, facilitando o controle e o planejamento do projeto como um todo, como é ilustrado na figura 4.

Figura 4 - Exemplo de EAP



(Coelho, 2006)

2.3.1.2 Alocação de Recursos

Os recursos são elementos necessários para executar atividades, incluindo recursos de trabalho, cuja produtividade define a duração do projeto, conforme Barcui et al. (2010). Eles dividem-se em três grupos: humanos (mão de obra), equipamentos e materiais.

Sears et al. (2015), descreve que a alocação eficiente inclui planejar a necessidade de longo prazo para os recursos gerais e detalhar a programação de curto prazo para atividades específicas. Para o autor, prever quando e onde cada recurso será necessário e monitorar a entrega e disponibilidade para mitigar atrasos e disputas de prioridade.

2.3.1.3 Tempo das tarefas

Ballesteros-Pérez et al. (2020) afirma que as durações das tarefas em projetos de construção apresentam alta variabilidade, o que contribui significativamente para atrasos e desvios de custos. A variabilidade nas durações das atividades é influenciada por fatores contextuais como localização do projeto, condições climáticas e disponibilidade de recursos, além de mudanças nos requisitos dos clientes e regulações.

Nesta etapa, deve-se definir alguns conceitos importantes, dentre eles, apresenta-se o RUP (Razão Unitária de Produção), também pode ser chamado de índice de produtividade, que é a relação entre o tempo e o trabalho necessários para executar uma unidade do serviço, ou seja, é expresso como unidade de tempo por unidade de trabalho (h/ kg, h/ m', min/ un, dia/ m³ etc.) (Sears et al., 2015).

Nesse âmbito, a “produtividade”, é o inverso do RUP, segundo Mattos (2019), mede a quantidade de trabalho que pode ser realizada em um determinado período, como por exemplo, kg/h, m²/dia etc.

Assim sendo, Nový et al. (2012) explicam que a produtividade envolve o uso eficaz dos recursos disponíveis para maximizar os resultados, o que inclui a implementação de tecnologias modernas, práticas de gerenciamento eficientes e a minimização de desperdícios para melhorar a produção e cumprir os prazos e padrões de qualidade esperados.

Dessa maneira, conforme Barcui et al. (2010), é possível determinar a matematicamente a duração de uma atividade, como demonstra a equação 1.

$$Duração = \frac{RUP \times trabalho\ necessário}{Número\ de\ recursos} \quad (1)$$

Na Figura 5, observa-se a relação inversamente proporcional entre a equipe com um número variável de pedreiros e a execução da alvenaria.

Figura 5- Duração de atividade de alvenaria em função da equipe

Trabalho (Hh)	Equipe	Duração da atividade (horas)	Duração da atividade (dias)
80	1 pedreiro	80	10
80	2 pedreiros	40	5
80	3 pedreiros	26,66	3,33
80	4 pedreiros	16	2

Mattos (2019)

Segundo o manual metodológico do SINAPI (2025), a análise da mão de obra utilizada na composição dos serviços é baseada em observações de campo, realizadas em obras reais distribuídas por todas as regiões do Brasil. Esse levantamento tem como objetivo garantir que os coeficientes apresentados pelo sistema reflitam, de forma prática e atualizada, o desempenho das equipes sob condições normais de execução.

O indicador adotado para expressar essa eficiência é a Razão Unitária de Produção (RUP), que relaciona o total de homens-hora despendidos (Hh) com a quantidade de serviço realizado (Qs), conforme a equação 2:

$$RUP = \frac{Hh}{Qs} \quad (2)$$

Esse índice é geralmente expresso em horas por metro quadrado (h/m²), sendo utilizado como base para determinar a produtividade da mão de obra por tipo de serviço. A análise do SINAPI considera diferentes formas de apresentação do RUP:

- RUP diária (RUPd): obtida com base no desempenho registrado em dias específicos da obra;
- RUP acumulada (RUPcum): corresponde à média do desempenho desde o início da execução do serviço;
- RUP cíclica (RUPcic): utilizada para serviços repetitivos (como pavimentos tipo), permitindo avaliar a produtividade por ciclo de produção;
- RUP potencial (RUPpot): representa a melhor produtividade observada em campo, desconsiderando interferências, pausas e desvios operacionais, sendo considerada uma referência de máxima eficiência.

O tempo analisado para o cálculo do RUP considera apenas o período efetivo de trabalho, excluindo os intervalos para refeições, mas mantendo as pausas normais do canteiro, como deslocamentos, preparação de ferramentas ou pequenos atrasos, o que garante uma avaliação realista das condições de produção.

2.3.1.3.1 Produtividade

A produtividade do trabalho de acordo com Ardila et al. (2024), é especialmente relevante no setor da construção devido ao seu impacto na duração e custo das obras. Os autores ressaltam que medir a produtividade da mão de obra envolve calcular a quantidade de unidades construídas por hora trabalhada, permitindo identificar fatores que podem otimizar a eficiência do trabalho humano.

Segundo Rei (2005), em seu manual, denomina a produtividade como a relação de “unidades produzidas por horas trabalhadas”, como podemos expressar na equação 3.

$$Produtividade = \frac{Input \text{ (metros construídos, por exemplo)}}{Output \text{ (horas trabalhadas, por exemplo)}} \quad (3)$$

Bebeşelea (2015), sugere a existência da produtividade parcial, uma vez que a produtividade da mão de obra também pode ser medida pela duração das atividades específicas, isto é, segundo a autora, a produtividade pode ser parcial, quando medida apenas em relação a um fator, como por exemplo m²/h, no qual se relaciona a hora.

Dessa maneira, a produtividade pode ser global, quando todos os fatores de produção são considerados, conforme Rathnayake & Middleton (2023), a produtividade pode ser aplicada como uma métrica para avaliar a eficiência total do projeto, comparando

o output (unidades construídas) ao input (recursos investidos), como expressa a equação 4.

$$Produtividade\ global = \frac{Input\ (metros\ construídos)}{\Sigma Outputs\ (\$+h)} \quad (4)$$

2.3.1.3.2 Estimativas de Duração

Apesar das durações das atividades estarem sempre sujeitas a algum grau de incerteza, elas não podem ser simplesmente adivinhadas. Dessa maneira, é preciso utilizar parâmetros existentes para fazer estimativas fundamentadas sobre a duração possível das atividades.

O Project Management Institute (2017), relata outras formas para estimar a duração das atividades:

- a. Opiniões especializadas e dados históricos ajudam nas estimativas, mas aumentam incertezas e riscos, exigindo consideração no planejamento do projeto.
- b. A estimativa análoga usa a duração real de uma atividade similar anterior como referência, baseada em dados históricos e opinião de especialistas.
- c. É importante considerar cenários distintos: a estimativa mais provável (recursos e produtividade esperados), uma otimista (melhores condições) e uma pessimista (piores circunstâncias).
- d. A estimativa pode incluir reservas de tempo (contingências) para reconhecer riscos, definidas como um percentual da duração ou por análise quantitativa. Essas reservas são ajustadas com novas informações e devem ser documentadas com outros dados relevantes.

2.3.1.3.3 Estimativas paramétricas

O uso de estimativas paramétricas em projetos de construção se baseia, segundo Sears et al. (2015), em dados históricos e relaciona variáveis mensuráveis do projeto, como o custo por metro quadrado ou o tempo por unidade de produção, para prever o tempo e custo de atividades futuras.

Conforme Lester (2007), essas estimativas são particularmente úteis nas fases iniciais de planejamento, pois fornecem previsões rápidas e aproximadas para apoiar decisões preliminares. Esse método é eficaz em projetos com atividades repetitivas, onde as condições de trabalho e a produtividade podem ser razoavelmente previstas com base em projetos anteriores.

Neste âmbito, referindo-se ao Brasil, surge-se o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), criado pela Caixa Econômica Federal, que adota definições de engenharia para manter uma base de dados que fornece referências de preços de serviços e materiais da construção civil.

Esses preços são obtidos por meio de uma pesquisa contínua realizada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), permitindo a elaboração de orçamentos de referência utilizados na contratação de obras públicas.

Na Figura 6, é possível observar uma composição analítica de serviço relacionada a alvenaria de vedação, a qual relata os insumos e outras composições. Dessa forma, é possível definir uma duração total por uma unidade de medida, considerando que cada atividade possui seu respectivo tempo e quantidade de material.

Figura 6 - Composição de Serviço

1. COMPOSIÇÃO ANALÍTICA DE SERVIÇO					
Código / Seq.	Descrição da Composição			Unidade	
01.PARE.ALVE.010/01	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO DE 9X19X39 CM (ESPESSURA 9 CM) E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA. AF_12/2021			M2	
Código SIPCI				Situação	
103316				ATIVO	
Vigência: 12/2021 Última Atualização: 12/2021					
COMPOSIÇÃO					
Item	Código	Descrição	Situação	Unid.	Coef.
I	650	BLOCO DE VEDACAO DE CONCRETO, 9 X 19 X 39 CM (CLASSE C - NBR 6136)	ATIVO	UN	13,60000
I	34557	TELA DE ACO SOLDADA GALVANIZADA/ZINCADA PARA ALVENARIA, FIO D = *1,20 A 1,70* MM, MALHA 15 X 15 MM, (C X L) *50 X 7,5* CM	ATIVO	M	0,42000
I	37395	PINO DE ACO COM FURO, HASTE = 27 MM (ACAO DIRETA)	ATIVO	CENTO	0,00500
C	87292	ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8 (EM VOLUME DE CIMENTO, CAL E AREIA MÉDIA ÚMIDA) PARA EMBOÇO/MASSA ÚNICA/ASSENTAMENTO DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO, PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_08/2019	ATIVO	M3	0,00870
C	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	ATIVO	H	0,73000
C	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	ATIVO	H	0,36500

(CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2023)

Como já descrito anteriormente ao utilizar os índices médios de serviço (produção), isto é, os RUP's fornecidos pela composição, é possível calcular a duração de uma atividade.

Conforme Mattos (2019), usualmente, ao se planejar um cronograma, atribui-se primeiramente as durações das atividades, conforme coeficientes das tabelas, para então, definir a quantidade de trabalhadores alocados na atividade.

2.3.1.4 Sequência de Atividades

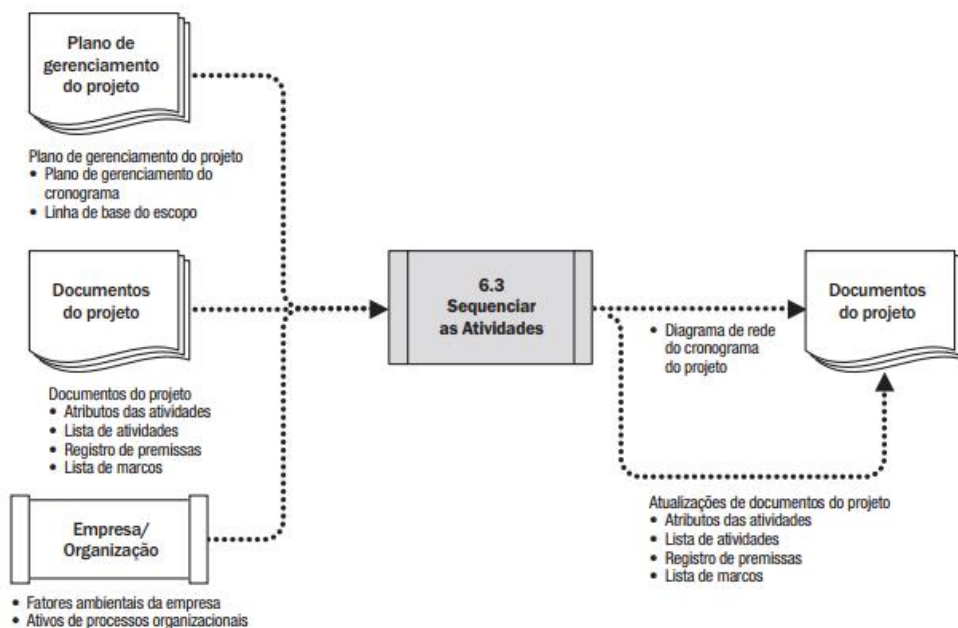
O sequenciamento de atividades consiste em organizar as atividades definidas na EAP em uma ordem lógica que corresponda ao trabalho a ser realizado. Para Lester

(2007), é a etapa que se organiza a ordem e as dependências entre as tarefas usando diagramas de precedência, que ajudam a identificar o Caminho Crítico.

É uma etapa essencial para garantir a execução adequada e eficiente do trabalho, permitindo que as atividades sejam realizadas na sequência correta. (Festas, 2018)

O esquema, ilustrado pela figura 7 a seguir, mostra como a situação que implica a sequência de atividades.

Figura 7 - Esquema de sequência de atividades



(Project Management Institute, 2017)

Nesse processo, Halpin & Senior (2011), descrevem que o gestor constrói um diagrama, no qual deve desenvolver uma lógica sequencial que assegure a execução eficaz das atividades e considere tanto restrições físicas, como a sequência de colocação de componentes, quanto decisões estratégicas, que podem ser modificadas para otimizar o cronograma.

Essa abordagem assegura que as atividades sejam executadas em uma ordem lógica, levando em consideração as restrições de tempo e dependências entre as tarefas. As relações são definidas pela figura 8.

Figura 8 - Sequência de Atividades

Fim-início (<i>finish-to-start</i> ou <i>FS</i>) – a atividade sucessora só começa após o término da atividade predecessora.	
Início-fim (<i>start-to-finish</i> ou <i>SF</i>) – a atividade sucessora só termina após o início da atividade predecessora.	
Início-início (<i>start-to-start</i> ou <i>SS</i>) – a atividade sucessora só começa após o início da atividade predecessora.	
Fim-fim (<i>finish-to-finish</i> ou <i>FF</i>) – a atividade sucessora só termina após o fim da atividade predecessora.	

(Barcui et al., 2010)

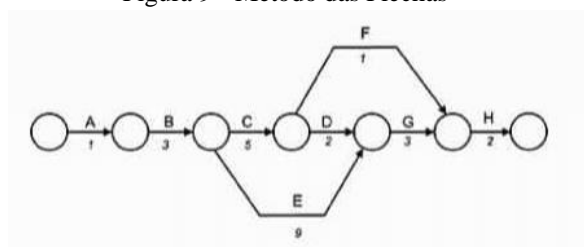
2.3.1.5 Montagem do diagrama de rede

De acordo com Halpin & Senior (2011), qualquer projeto pode ter sua sequência de execução visualizada através de um diagrama de rede. Permite-se uma visualização clara das interconexões entre as atividades e serve como base para calcular o caminho crítico e as folgas utilizando a técnica CPM.

Para Yu & Zuo (2022), existem dois métodos amplamente utilizados para criar um diagrama de rede: o método das flechas (ADM - *arrow diagramming method*) e o método dos blocos (PDM - *precedence diagramming method*). Ambos os processos são bastante semelhantes, pois têm como objetivo identificar o caminho crítico e determinar o prazo de cada atividade do planejamento.

O método das flechas, conforme Figura 9, implica num formato específico que utiliza relações de precedência do tipo "fim-início" para estabelecer as dependências entre as atividades. No diagrama, as atividades são representadas por setas e os nós representam as interligações e relações de dependência entre essas atividades. (Mattos, 2019)

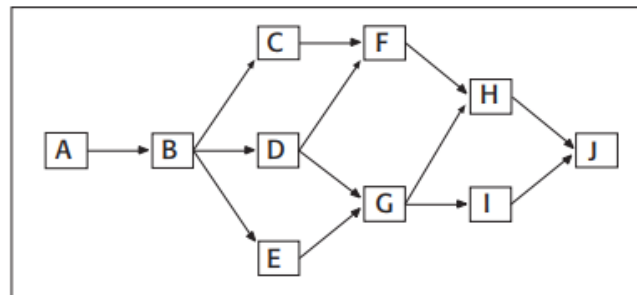
Figura 9 - Método das Flechas



(Mattos, 2019)

Para o PDM, as atividades estão representadas nos nós e as relações nas setas. Isso facilita muito a compreensão do diagrama e suas interdependências, como ilustra a figura 10.

Figura 10 - Método dos Blocos



(Barcui et al., 2010)

2.3.1.6 Diagrama de Gantt

Nový et al. (2012), explicam que o diagrama de Gantt é uma representação gráfica em que as atividades de um projeto são organizadas em uma linha do tempo horizontal. No diagrama, cada atividade é representada por um retângulo ou barra cuja extensão ao longo do eixo do tempo indica a duração prevista.

Para Sears et al. (2015), por meio do diagrama de Gantt, é possível organizar visualmente as tarefas e acompanhar o progresso de cada atividade em relação ao cronograma total, obtendo-se o controle de prazos e a alocação de recursos disso, além de notar-se os prazos estipulados em cada respectiva data, conforme demonstra a figura 11.

Figura 11 - Diagrama de Gantt



(Barcui et al., 2010)

2.3.2 Métodos de Gerenciamento de Tempo

A análise do diagrama de Gantt engloba diversas técnicas, incluindo o CPM (Critical Path Method), do inglês, e traduzido significa “Método do Caminho Crítico” e

o PERT (Program Evaluation and Review Technique), originada do inglês, idem anteriormente, que traduzido: “Técnica de Avaliação e Revisão de Programas”. Ao utilizar essas técnicas, é possível avaliar os riscos envolvidos e reduzir a probabilidade de desvios no cronograma., nesse contexto, é importante estabelecer métodos de controle e monitoramento dos prazos do projeto.

2.3.2.1 Método do Caminho Crítico - Critical Path Method (CPM)

O processo de cálculo baseia-se na técnica de minimização de tempo, aplicando-se uma ferramenta de algoritmo para a sua determinação. A diferença entre a data mais tardia e a data mais cedo é chamada de folga total. As atividades com menor folga, geralmente zero, formam o caminho crítico, que é o mais inflexível na rede (Sears et al., 2015).

Assim sendo, qualquer atraso existente nesse caminho afeta todo o projeto, comprometendo os resultados operacionais, a entrega de um novo produto, uma pesquisa ou algo similar (Barcui et al., 2010).

Para esse método, é importante salientar a importância de alguns conceitos, conforme Escola Nacional de Administração Pública (2014), são eles:

- Início mais cedo de uma atividade: É a data mais otimista para iniciar uma atividade, considerando que tudo ocorra conforme planejado e não haja atrasos em atividades anteriores ou dependências.
- Início mais tarde de uma atividade: É a última data possível para iniciar uma atividade sem afetar o projeto como um todo, evitando prejuízos ao cronograma geral.
- Término mais cedo de uma atividade: É a data mais otimista para concluir uma atividade, levando em conta a realização das etapas de forma eficiente, sem utilizar nenhuma margem de folga. Representada pela equação 5:

$$TMC = IMC + De \quad (5)$$

Onde, TMC = Término mais cedo; IMC=Início mais cedo
De= Duração estimada

- Término mais tarde de uma atividade: É a data limite para concluir uma atividade sem comprometer o prazo de conclusão do projeto como um todo, como demonstra a equação 6.

$$TMT = IMT + De \quad (6)$$

Onde, TMT = Término mais tarde; IMT=Início mais tarde
De = Duração estimada

- Folga Total - É o tempo disponível em uma atividade que não afeta o prazo do projeto, mas pode impactar as atividades subsequentes, desde que não sejam atividades críticas, pela equação 7.

$$FT = TMT - IMT \quad (7)$$

Onde, FT = Folga Total
TMT = Término mais tarde
IMT=Início mais tarde

2.3.2.2 PERT - Program Evaluation and Review Technique

Nesse contexto, Lester (2007), explica que o cálculo PERT envolve três estimativas de tempo: tempo otimista (a), tempo mais provável (m) e tempo pessimista (b). Para obter a duração esperada da atividade (te), utiliza-se a fórmula que envolve o desvio padrão da atividade (s) e a variância (v), temos as respectivas equações 8, 9 e 10 a seguir:

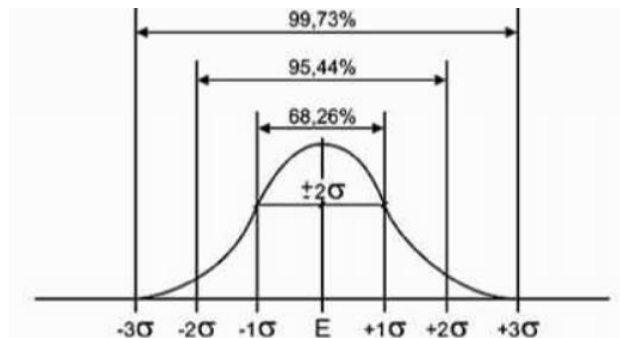
$$te = \frac{a+4m+b}{6} \quad (8)$$

$$S = \frac{b-a}{6} \quad (9)$$

$$v = S^2 \quad (10)$$

Dessa maneira, segundo Vergara et al. (2017), o desvio-padrão é uma medida comum da variabilidade estatística e fornece uma indicação de quão distantes os valores estão da média aritmética. Em outras palavras, ele quantifica o grau de dispersão dos dados em relação a um valor médio. Quando se trata das durações, o desvio-padrão ajuda a entender o quão diferentes as várias durações estão em relação ao tempo esperado. Na distribuição normal, tem-se a características da figura 12, a seguir:

Figura 12 - Distribuição normal



Mattos (2019)

Ao mesmo passo, a variância é definida pelo quadrado do desvio padrão (σ^2). Ela direciona a um cálculo mais preciso em relação a um conjunto de atividades, tendo em consideração a utilização determinística a princípio, deve-se observar também, as incertezas do caminho crítico ao longo das tarefas, isto é, incertezas dedicadas a uma só tarefa (Sears et al., 2015).

Assim, cada tarefa vai ter sua variância, e ao total, resultar em um novo desvio padrão, obtendo-se um número mais real como referência.

2.3.3 Gerenciamento dos Riscos

Para assegurar uma melhor eficiência do planejamento, é necessário identificar as incertezas que estão compondo a realização do projeto. Conforme Churchill & Coster (2001), a gestão de riscos pode ser definida como o processo de assumir riscos calculados, reduzindo a probabilidade de ocorrência de perdas e minimizando sua magnitude, caso ocorram.

Para Jaafari (2001), o risco é definido como a exposição à perda/ganho ou a probabilidade de ocorrência de perda/ganho multiplicada por sua magnitude correspondente. Em projetos, é necessário definir uma ou várias funções objetivas para representar o projeto em consideração e medir a probabilidade de atingir determinados valores-alvo para elas.

Neste âmbito, a gestão de riscos envolve a modelagem das funções objetivos do projeto em relação a variáveis do projeto, que incluem variáveis como custo e quantidades de recursos de entrada, cronograma, logística, entre outros. A incerteza do projeto é a probabilidade de que a função objetiva não alcance seu valor alvo planejado. (Freitas Rodrigues & Barbosa Sobral, 2023)

Cretu et al. (2011), enfoca que o principal objetivo do processo de gestão de riscos é diminuir o impacto dos riscos nos objetivos do projeto e, dessa forma, aprimorar a tomada de decisões. Isso envolve tanto a prevenção de problemas em potencial quanto a detecção precoce de problemas reais quando eles ocorrem.

Assim sendo, Pecina et al. (2022) relata junto ao plano de gerenciamento de riscos do projeto, deverá estar composto as definições dos níveis de probabilidade e impacto para realizar a classificação de determinado risco.

Conforme Ghorbani et al. (2022), para se identificar os riscos, utiliza-se de ferramentas que podem agregar valor nessa etapa, as quais são: a análise da causa-raiz; análise das premissas e restrições; análises de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças; e análise de documentos do projeto.

Após a identificação dos riscos, Arunmohan & Lakshmi (2018) em sua pesquisa ressaltam a necessidade de realizar uma hierarquização para que existam camadas de prioridade dos riscos, assim são definidos os riscos que podem causar mais impactos frente a sua probabilidade de ocorrência.

Nesse contexto, Mendes (2017) em seu estudo, propõe o Índice de Criticidade de Risco de Atraso (ICRA) como ferramenta para classificar e priorizar atividades críticas de um cronograma com base no nível de risco de atraso, ressaltando-se o uso de tal índice para apoiar os gestores a hierarquizar os riscos do projeto.

Kwon et al. (2023), utilizou a EAR (Estrutura Analítica de Riscos) em conjunto com teoria de conjuntos *fuzzy*, (do inglês, FST – *Fuzzy Set Theory*), para identificar e qualificar zonas de ameaças em um projeto de túnel, associando-se seus impactos com sua probabilidade de ocorrência, realizando as priorizações dos riscos existentes.

No contexto da análise quantitativa de riscos, é comum utilizar a Simulação de Monte Carlo como ferramenta de análise de dados. Segundo Zhang & Jin (2020), essa técnica consiste em aplicar distribuições de probabilidade às variáveis de entrada, como a probabilidade de ocorrência e o impacto dos riscos identificados no projeto. Por meio de simulações computacionais, são gerados inúmeros cenários aleatórios, resultando em uma distribuição probabilística dos possíveis resultados. Essa abordagem permite estimar a probabilidade de o projeto ser concluído dentro do prazo e orçamento estabelecidos.

2.3.3.1 Simulação de Monte Carlo (SMC)

Conforme Sobieraj & Metelski (2022), existem numerosos métodos disponíveis para avaliar riscos nesse cenário, no entanto, muitos deles tendem a ser excessivamente complexos e são raramente adotados por profissionais da construção.

Assim sendo, Alves de Oliveira et al. (2019) relatam que esse método é frequentemente empregado em processos de amostragem, estimativa e otimização. Assim, embora esteja principalmente relacionado a questões de gerenciamento de

cronograma e custos, geralmente é considerado uma ferramenta de gerenciamento de riscos.

Bonate (2001) afirma que o método simula eventos probabilísticos gerando números aleatórios para variáveis independentes, criando cenários e resultados possíveis. A cada iteração, valores de entrada são escolhidos aleatoriamente com base nas distribuições de probabilidade, permitindo calcular a probabilidade de um valor esperado.

Para o Project Management Institute (2017), recomenda-se a utilização do método de Monte Carlo nos processos de quantificação de riscos, a fim de lidar com questões que poderiam afetar adversamente um projeto e justificar a inclusão de reservas no cronograma ou no orçamento.

2.3.3.2 Construção e Etapas do Método

Segundo Kroese et al. (2014) a simulação de Monte Carlo é uma ampla categoria de algoritmos computacionais que se baseiam na amostragem aleatória repetida para obter resultados numéricos, dessa maneira, a seguir é demonstrado as etapas de implementação do método:

- **Definição do Modelo Determinístico**

Para Raychaudhuri (2013), uma simulação de Monte Carlo inicia-se na definição de um domínio determinístico que representa os cenários possíveis, próximo ao cenário real. Esse modelo é fundamental para estabelecer a estrutura lógica do sistema (como uma equação, cronograma, orçamento, ou função de desempenho) e validar sua operação antes da introdução de aleatoriedade. Ele serve como base para a simulação.

- **Identificação das variáveis de entrada com incerteza**

Conforme Kerzner (2009), após a validação do modelo, identificam-se as variáveis que apresentam comportamento incerto, como a duração de atividades, custo de insumos, demanda, produtividade, entre outras. Essas variáveis serão representadas por distribuições de probabilidade, definidas conforme a natureza dos dados disponíveis (empíricos, estimativas de especialistas ou registros históricos).

- **Definição das distribuições de probabilidade**

Kerzner (2009), relata que cada variável identificada como incerta é associada a uma distribuição de probabilidade adequada. As mais utilizadas incluem:

1. Triangular: quando se conhecem os valores mínimo, mais provável e máximo;
2. Beta-PERT: semelhante à triangular, mas com curvatura suavizada;
3. Normal: usada quando se conhece a média e o desvio padrão;
4. Uniforme: quando todos os valores têm a mesma probabilidade de ocorrer.

A escolha da distribuição influencia diretamente a simulação, pois define o comportamento estatístico da variável.

- **Geração de números pseudoaleatórios e transformação em variáveis simuladas**

Na Simulação de Monte Carlo, os valores que representam as incertezas são gerados por algoritmos computacionais chamados geradores de números pseudoaleatórios. Esses valores seguem uma distribuição uniforme no intervalo $[0,1]$, simulando a aleatoriedade necessária para a análise probabilística.

Para Harrison (2009), cada valor aleatório gerado $u \in [0,1]$ é transformado em um valor real de entrada do modelo por meio da função inversa da distribuição acumulada (CDF) da distribuição adotada. Esse processo, conhecido como método da inversão, assegura que os valores simulados reflitam fielmente a forma da distribuição — como a triangular, por exemplo — respeitando as estimativas mínima, mais provável e máxima.

- **Processamento Iterativo e Avaliação dos Resultados Simulados**

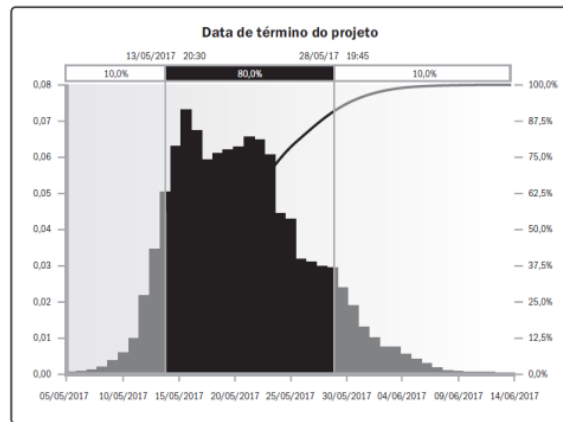
Após a definição das variáveis de entrada e das distribuições de probabilidade associadas, o modelo é executado iterativamente, com diferentes conjuntos de valores gerados de forma aleatória. Conforme Platon & Constantinescu (2014), cada iteração representa uma simulação independente, na qual os valores de entrada são sorteados com base em uma distribuição (por exemplo, triangular), e o modelo retorna um resultado que é armazenado para análise posterior.

Esse processo é repetido centenas ou milhares de vezes, no qual se visa capturar a variabilidade e o comportamento estocástico do sistema, permitindo a construção de uma distribuição empírica dos resultados.

Segundo Sobieraj & Metelski, (2022), ao final, os dados obtidos são analisados por meio de histogramas, curvas acumuladas e medidas estatísticas como média, mediana, desvio padrão e percentis. Dessa forma, a Simulação de Monte Carlo permite não apenas prever possíveis resultados, mas também quantificar a probabilidade de ocorrência de cada um

deles, fornecendo suporte direto à gestão de riscos e à tomada de decisão, como demonstra na figura 13.

Figura 13 - Distribuição de probabilidade de uma data alvo



(Project Management Institute & Project Management Institute, 2017)

Neste exemplo acima, há uma probabilidade de 10% que o projeto seja finalizado até 13 de maio, que por sua vez, tem uma probabilidade de 80% de conclusão do projeto até 28 de maio.

3 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

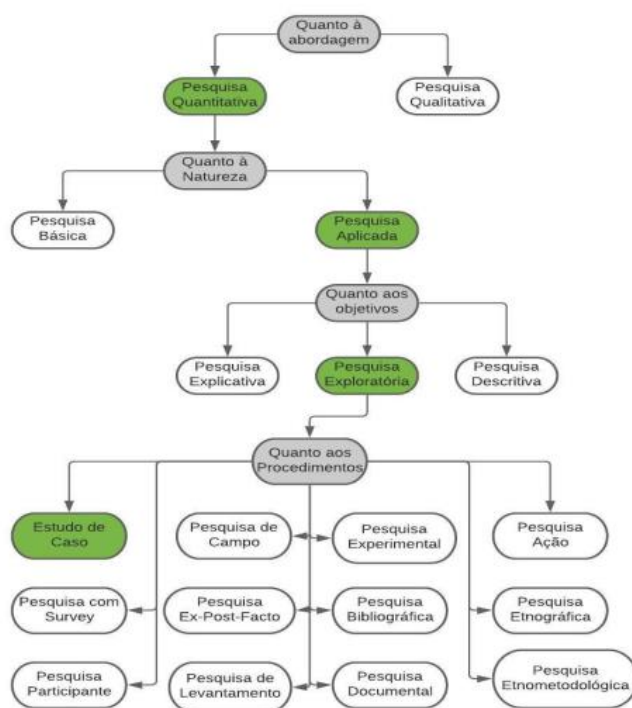
Neste capítulo é apresentado a metodologia empregada para a elaboração deste estudo, assim, a priori, demonstra-se como a pesquisa é classificada, e seguidamente, as definições de como cada etapa do trabalho foi realizada.

Para que se garanta a coerência e validade dos trabalhos científicos, é importante que os pesquisadores entendam o tipo de pesquisa em relação aos dados e objetivos do estudo. Nesse contexto, Eugênio & Lima (2023) relatam que é preciso escolher uma estratégia adequada, assim como métodos de coleta e análise de dados apropriados às fontes de evidência disponíveis e aos objetivos da pesquisa.

Em uma metodologia, Paiva (2021) relata que as investigações seguem uma linha de padronização, nesse sentido, devem ser classificadas em relação à sua natureza, abordagem, aos objetivos e seus percursos de investigação.

Freitas Rodrigues & Barbosa Sobral (2023), realizaram uma estrutura definida para a metodologia de investigação aplicada, abordada semelhantemente no presente trabalho, demonstrada pela figura 14.

Figura 14 - Estrutura da Metodologia de Pesquisa



(Freitas Rodrigues & Barbosa Sobral, 2023)

3.1 Contexto da Metodologia

3.1.1 Considerações Iniciais

Nessa pesquisa, foi-se implementado uma abordagem tanto quantitativa quanto qualitativa, através do estudo de caso e pesquisa bibliográfica, que buscou coleta de informações, as quais separam-se numa aplicação de um levantamento das durações de atividades relacionadas aos processos executivos de determinados tipos de lajes que acarretam numa amostragem real.

Nesse âmbito, Santos et al. (2019) caracteriza uma pesquisa qualitativa como um emprego de quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento dessas por meio de técnicas estatísticas.

Por outro lado, a abordagem qualitativa, não se descreve por números, mas numa verificação da realidade com o objeto de estudo, obtendo-se interpretações de uma análise indutiva. Segundo A Jabar et al. (2009), a pesquisa qualitativa é ideal para explorar fenômenos complexos, principalmente em situações em que as variáveis não são claramente definidas e é necessário um entendimento detalhado das interações e influências dentro de um contexto.

Conforme Gil (2010), as pesquisas científicas são classificadas pelos seus objetivos em 3 grupos: exploratórios, descritivas e explicativas. Assim, a finalidade do presente estudo compõe em explorar a exequibilidade operacional de diferentes tipos de lajes com o uso dos métodos de gerenciamentos de prazos, tal como o PERT e sua combinação com a SMC, a fim de verificar sua eficiência em termos práticos.

Santos et al. (2019), da mesma maneira, relata que o percurso da investigação se dá por 3 fases, a inicial, também chamada de exploratória, em seguida a de análise e por fim a síntese. Para o autor, a primeira fase de uma investigação é fundamental no processo de pesquisa, pois, se realizada de maneira inadequada, afetará o valor e a credibilidade das informações e do conhecimento gerados.

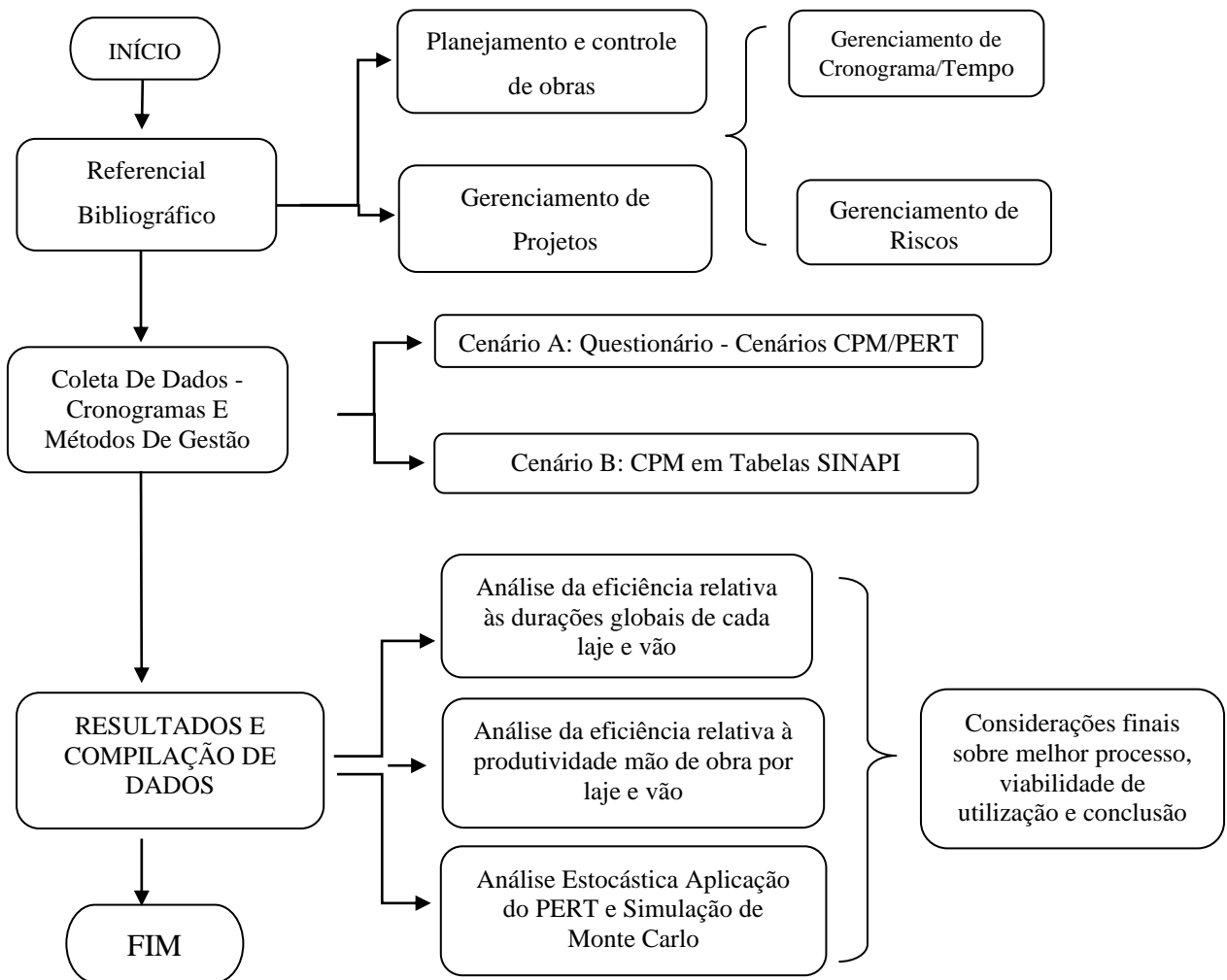
Nesse âmbito, esse estudo tem como característica ser um estudo de caso comparativo ou estudo de casos múltiplos, uma vez que foi considerado vários tipos de lajes e vãos.

Segundo Yin (2015), um estudo de caso é adequado quando o objetivo é examinar um fenômeno em profundidade, dentro de um contexto específico e com múltiplas variáveis interdependentes, o que se insere nesse estudo.

3.1.2 Metodologia desenvolvida no Estudo

A figura 15, apresenta o diagrama da metodologia empregada neste estudo, estruturado em cinco etapas principais, desde a revisão bibliográfica até a análise dos resultados. O diagrama ilustra a sequência lógica das atividades desenvolvidas, evidenciando a integração entre a coleta de dados, a elaboração dos cronogramas, a aplicação dos métodos de gestão de tempo e risco e a análise final dos resultados.

Figura 15 - Diagrama da metodologia



(Autoria Própria, 2024)

3.1.3 Considerações Iniciais do estudo

Segundo Snyder (2019), a revisão de literatura fornece a base para avançar no conhecimento e facilitar o desenvolvimento de teorias aplicáveis à sua investigação específica.

Assim sendo, neste trabalho, foi elaborado, inicialmente, o referencial teórico com base em fontes de trabalhos acadêmicos, livros e normas regulamentadoras, mais especificamente nas áreas de Gerenciamento de Projetos, Gerenciamento de Cronogramas e Probabilidade e Estatística, esta etapa teve como foco a explanação das características distintas das três metodologias discutidas (CPM, PERT e SMC).

3.1.4 Estudo desenvolvido

3.1.4.1 Cenários objeto de estudo

Para Jabar et al. (2009), a pesquisa qualitativa envolve métodos de coleta como entrevistas, observações e análise de documentos, focando em dados ricos e contextuais que oferecem uma compreensão profunda sobre o fenômeno estudado.

Para essa etapa de análise e coleta de informações, a metodologia de investigação foi realizada em 2 abordagens. A primeira, pela elaboração do cronograma genérico, com o estudo de caso, através de um formulário, que foi essencial para a busca de material para o estudo.

De acordo com Santos et al. (2019), a etapa de análise marca o início do desenvolvimento da metodologia. Nesse contexto, dá-se início ao estudo de caso, representado pelo Cenário “A”, construído com o objetivo de atender à proposta deste trabalho.

Foram realizados cronogramas com base nas respostas adquiridas com a finalidade de comparação entre os sistemas construtivos de lajes, isto é, aprofundou-se em alinhar dados da prática em execuções em contato direto com profissionais do cotidiano em obras e lidam com esse processo.

Nesse sentido, Ranganathan & Caduff (2023), abordam que a coleta de dados por formulários destaca a importância de seu design, uso e validação para assegurar a qualidade dos dados. Eles ressaltam que, para ser eficaz, um questionário deve ser adequado ao objetivo da pesquisa e à natureza das informações que se pretende obter.

No intuito de se realizar uma comparação de duração entre execução de lajes, o estudo carece de diferentes dados, portanto a SINAPI foi escolhida como fonte de dados, uma vez que é a base de cálculo de medições e orçamentos de obras no Brasil.

Neste âmbito de análise comparativa e diferentes fontes, Yin (2015) reforça que a coleta de dados é uma etapa intensiva, e muitas vezes inclui múltiplas fontes para enriquecer a compreensão do fenômeno, como entrevistas, registros históricos e documentos, que nesse caso, como já dito, usou-se das tabelas SINAPI, que foi caracterizada pela segunda parte da abordagem em coleta de informações de engenheiros, empreiteiros e técnicos ligados as obras, tratado no estudo como Cenário B.

Esse tratamento carece o dos dados de maneira sistemática para a montagem de banco de dados alinhados a proposta do estudo, que por sua vez, devem ser devidamente selecionados e interpretados. Dessa maneira, temos um resumo dos cenários e suas etapas conforme tabela 1:

Tabela 1 - Resumo dos Cenários

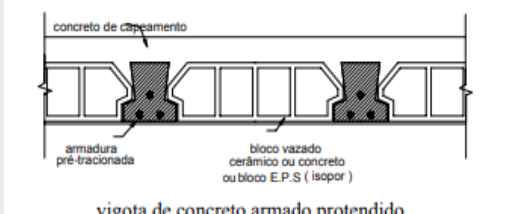
Etapas	Cenário A	Cenário B
Fonte de dados	Profissionais da Construção	Tabelas SINAPI
Dados coletados	Duração & número de operários	Coefficientes de tempo de mão de obra e custo
Método aplicado	CPM, PERT, Monte Carlo	CPM, Monte Carlo

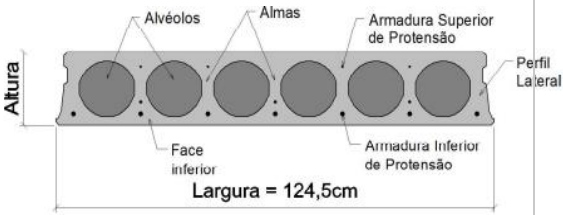
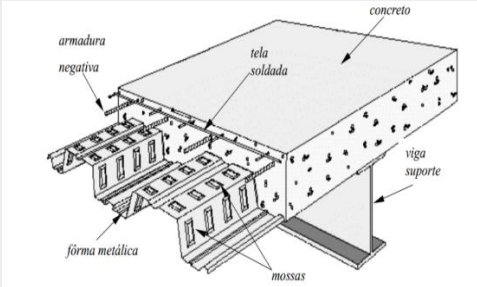

(Autoria Própria, 2024)

3.1.4.2 Tipologias de lajes consideradas nos cenários

Como objeto de estudo, foram considerados diferentes tipos de lajes, uma vez que cada sistema construtivo possui suas peculiaridades relativas as atividades, que por sua vez, influenciam diretamente na duração e na mão de obra utilizada, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Características de lajes

Tipo de Laje	Vantagens	Desvantagens	Ilustração
a) Lajes de Vigotas (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2015)	-Economia de material; -Facilidade de montagem; - Boa capacidade de suporte de carga	- Possibilidade de requerer escoramentos temporários; - Superfície de acabamento pode ser inferior; - Limitadas em vãos longos e cargas pesadas	 <p>concreto de cimeamento</p> <p>armadura pré-tensionada</p> <p>bloco vazado cerâmico ou concreto ou bloco E.P.S (Isopor)</p> <p>vigota de concreto armado protendido</p>

<p>b) Lajes Alveolares (Pavicer, 2006)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Alta capacidade de suporte de carga - Baixa necessidade de escoramento -Superfície superior para acabamento 	<ul style="list-style-type: none"> - Pode ser mais cara devido à complexidade de fabricação - Requer transporte especializado 	
<p>c) Lajes Steel Deck (Lajes Mista Concreto - Aço) (Arcelor Mittal Perfilor, 2016)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Leveza e alta resistência estrutural -Adequadas para vãos longos e cargas pesadas -Mais rápidas em execução 	<ul style="list-style-type: none"> - Pode ser mais cara que vigotas - Requer mão de obra especializada -Carece de transporte especializado 	
<p>d) Lajes Maciças (Melhado & Bottura De Barros, 2006)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Alta capacidade de carga e durabilidade -Superfície superior para acabamento - Versatilidade para diferentes tipos de construções 	<ul style="list-style-type: none"> - Pode ser mais pesada, exigindo estruturas de suporte mais robustas - Tempo de construção pode ser mais longo - Pode ser mais cara devido ao material e mão de obra necessários, além de escoramentos e formas 	

(Autoria Própria, 2024)

a. Laje de Vigotas Protendidas

Conforme Souza et al. (2023), o processo da laje com vigotas envolve a instalação de vigotas treliçadas pré-moldadas apoiadas diretamente sobre as paredes ou vigas da estrutura, seguidas da colocação dos blocos de enchimento (cerâmicos ou EPS), armadura complementar e concretagem da capa. Após a cura, o sistema torna-se monolítico.

b. Lajes Alveolares

De acordo com Correia e Costa (2023), a laje alveolar consiste em painéis pré-moldados protendidos com vazios longitudinais (alvéolos), posicionados sobre os apoios

da estrutura por meio de içamento mecânico. O sistema pode receber uma capa de concreto para integração estrutural, dependendo das exigências do projeto. Sua execução rápida e sem necessidade de escoramento torna-a uma solução eficiente para obras com modulação e prazos reduzidos.

c. Lajes *Steel Deck*

Para Semokoviski (2021), o sistema *Steel Deck* é composto por chapas metálicas perfiladas que atuam como forma permanente para o concreto. As etapas incluem fixação das chapas nas vigas metálicas, instalação da armadura negativa sobre as nervuras da chapa e posterior concretagem.

d. Lajes Maciças

Segundo Barbosa et al. (2021), a laje maciça é moldada in loco com o uso de fôrmas convencionais, armaduras cortadas e dobradas no local e concretagem realizada diretamente na obra. O processo construtivo inclui montagem das fôrmas, colocação da armadura inferior e superior conforme projeto, concretagem e cura.

3.1.4.3 Dimensões consideradas para os cenários de cada laje

Para a análise comparativa entre os sistemas de lajes, foram adotadas três variações de vão livre: 5 metros, 4 metros e 3 metros. Essas dimensões foram escolhidas por refletirem situações comuns em projetos de edifícios, como armazéns comerciais ou industriais. Além disso, permite-se avaliar o desempenho estrutural e produtivo das tipologias em diferentes condições geométricas.

Para cada uma dessas configurações, estabeleceu-se uma área total construída aproximada, variando conforme a modulação adotada: 200 m² para o vão de 5 metros, 191 m² para o vão de 4 metros e 189 m² para o vão de 3 metros. Essas áreas foram aplicadas uniformemente a todas as tipologias de laje (*Steel Deck*, Alveolar, Maciça e Vigotas), assegurando condições comparáveis de análise entre os cenários.

A Tabela 3 apresenta a distribuição das áreas por tipo de laje e respectivo vão.

Tabela 3 - Distribuição de áreas conforme tipo de laje

Vão Livre (m)	Área Total Considerada (m ²)
5,00	200,00
4,00	191,00

3,00	189,00
------	--------

(Autoria Própria, 2024)

3.1.5 Cronogramas e Métodos de Gestão de Tempo e Risco

Ao longo desse processo, foi possível calcular as durações de todas as tarefas conforme vão e características construtivas. Com isso, iniciou-se desenvolvimento dos cronogramas em posse dos dados relativos, ao estudo de caso (questionário), ou seja, o cenário A, e as tabelas de produtividade da SINAPI, conhecida pelo cenário “B” os quais foram trabalhados em conjunto com o *software* Microsoft Project.

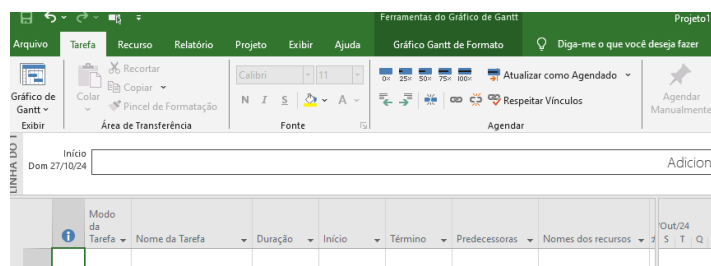
Para isso, no cenário “A”, em posse do cronograma e consequentemente, do CPM, temos a aplicação do PERT, no qual foi possível extrair a duração provável e esperada das atividades e obtendo-se a duração final, conforme tipo de laje, como já salientado.

A partir da elaboração de composições de serviço, baseadas no cenário “B”, foram determinadas as durações das atividades que compõe o processo de execução de uma laje dentre os tipos levantados, dessa maneira, realizou-se o CPM e extraiu-se as durações estimadas dos sistemas construtivos apresentados.

3.1.5.1 Abordagem ao Microsoft Project

O Microsoft Project é amplamente utilizado na construção civil para gerenciar cronogramas e orçamentos, permitindo organizar tarefas e associá-las a serviços e insumos com seus respectivos valores. Cada atividade inclui o tempo estimado de execução, podendo ser definido em horas, dias, semanas ou meses. Ao iniciar o programa, é possível visualizar a interface ilustrada na Figura 16.

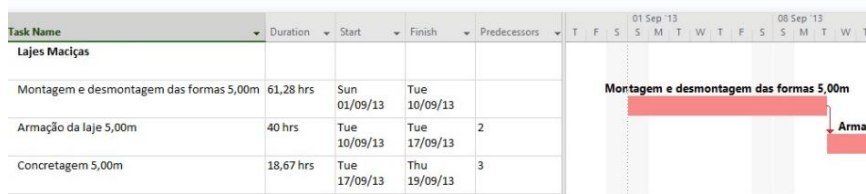
Figura 16 - Interface Ms Project



(Autoria Própria, 2024)

Na coluna "Nome da Tarefa", foram inseridas as principais etapas para a execução da laje: montagem da laje, montagem das armaduras e concretagem. Assim, as atividades foram detalhadas para cada vão, considerando que a mesma equipe realizaria todas as etapas, como exemplifica a figura 17.

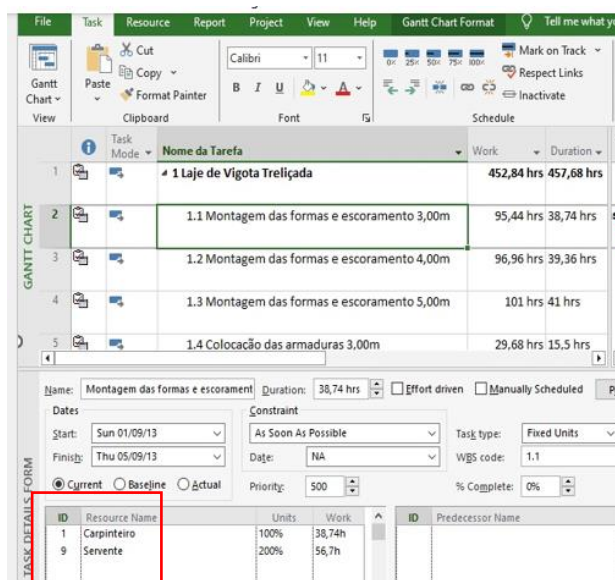
Figura 17 - Sequência das etapas de execução da laje inseridas no MS Project



(Autoria Própria, 2024)

Pela figura 18, nota-se que a coluna "Duração" foi preenchida com base nas horas de trabalho estimadas, como no exemplo da laje maciça de 5 metros com 200 m², onde o armador precisou de 61,28 horas. Nessa etapa, também se determina no *software*, a quantidade de trabalhadores para essa atividade, como demonstra o exemplo da figura 18.

Figura 18 - Janela de detalhes do MS Project



(Autoria Própria, 2024)

Neste exemplo, na zona inferior, (ícone “Detalhes” no *software*), percebe-se que para o servente foi imputado 200%, que significa 2 trabalhadores para a atividade no qual pertence, nesse caso, a montagem das formas e escoramento de uma laje de vigota de 3 metros.

Nesse contexto, é preciso fixar uma data início, definido por exemplo, para 1º de setembro, e o *software* ajusta automaticamente o início das etapas seguintes, considerando uma jornada diária de 8 horas, inclusive aos fins de semana, como demonstra a figura 19.

Figura 19 - Duração das tarefas e recursos no Ms Project

	Modo da Tarefa	Nome da Tarefa	Duração	Início	Término	Nomes dos recursos	Predecessoras
1		1 Laje Steel Deck	292,77 hrs	Dom 01/09/13	Sex 13/09/13		
2		1.1 Montagem das formas e escoras 3,00m	29,3 hrs	Dom 01/09/13	Qua 04/09/13	Ajudante de montador de formas[400%];Montador de formas[400%];Ajudante de montador de estruturas	
3		1.2 Montagem das formas e escoras 4,00m	29,76 hrs	Qua 04/09/13	Dom 08/09/13	Ajudante de montador de formas[400%];Montador de	2
4		1.3 Montagem das formas e escoras 5,00m	32 hrs	Dom 08/09/13	Qui 12/09/13	Ajudante de montador de formas[400%];Montador de	3
5		1.4 Instalação das armaduras 3,00m	3,03 hrs	Qua 04/09/13	Qui 05/09/13	Armadura elaborada em fábrica com aço em varões	2
6		1.5 Instalação das armaduras 4,00m	3,07 hrs	Dom 08/09/13	Dom 08/09/13	Armadura elaborada em fábrica com aço em varões	5;3
7		1.6 Instalação das armaduras 5,00m	3,2 hrs	Qui 12/09/13	Qui 12/09/13	Armadura elaborada em fábrica com aço em varões	6;4
8		1.7 Concretagem 3,00m	5,21 hrs	Qui 05/09/13	Sex 06/09/13	Carpinteiro para concretagem[400%];Concreto	5
9		1.8 Concretagem 4,00m	5,3 hrs	Dom 08/09/13	Seg 09/09/13	Carpinteiro para concretagem[400%];Concreto	6;8
10		1.9 Concretagem 5,00m	5,52 hrs	Qui 12/09/13	Sex 13/09/13	Carpinteiro para concretagem[400%];Concreto	7;9

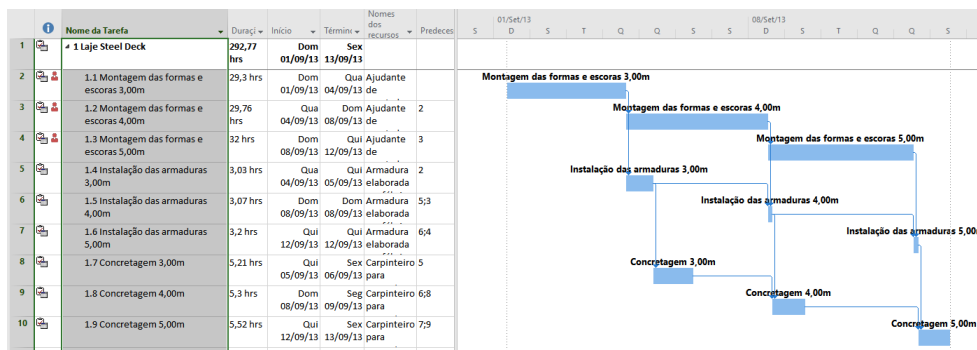
(Autoria Própria, 2024)

Baseando-se na figura 19, a coluna “Término” indica o término da tarefa, também considerando fatores como tempo de folga e duração das atividades. Assim como na coluna “Recursos”, cada trabalhador foi alocado com seu respectivo coeficiente e quantidade, visível também na janela de detalhes.

Foi considerada a mesma equipe total para montar as lajes em todos os vãos, conforme tipo construtivo, além disso, equipes específicas para montagem das armaduras e concretagem, cada uma dedicada exclusivamente à sua tarefa.

Do mesmo modo, a coluna “Predecessoras” é destinada a indicar a sequência das atividades, nela é possível especificar a dependência que as tarefas têm de outra tarefa para iniciar ou terminar, conforme o item 2.3.1.4 e 2.3.1.5 deste trabalho. Por fim, a direita da tela, o diagrama de Gantt é gerado automaticamente, refletindo as informações inseridas nas colunas, o que possibilitou a análise do caminho crítico, como mostra a figura 20.

Figura 20 - Diagrama de Gantt no Ms Project



(Autoria Própria, 2024)

O Microsoft Project teve neste estudo um papel voltado principalmente à organização e à estruturação das tarefas. Com isso, o software permitiu representar com clareza a sequência das atividades e identificar o caminho crítico.

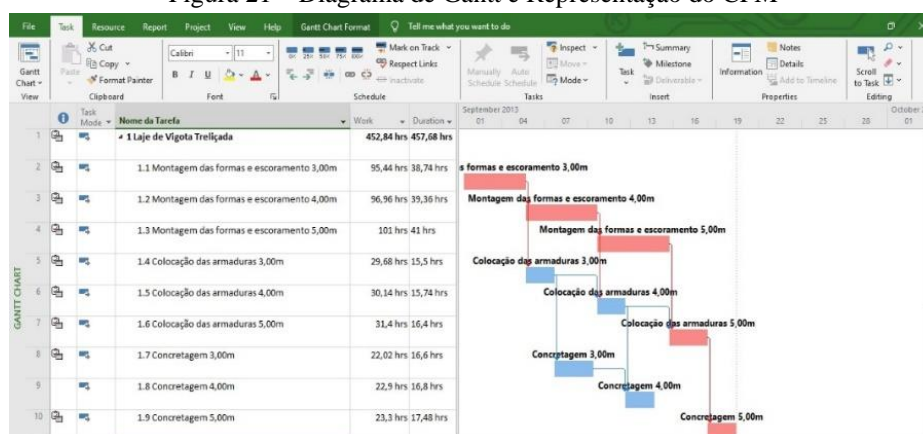
Como as tarefas analisadas são simples, sequenciais e independentes entre si, não se justificou a utilização de recursos mais avançados da ferramenta, como o nivelamento de recursos ou as análises de custo.

3.1.5.2 Desenvolvimento e encadeamento de atividades

Basicamente, no escopo de atividades pertencentes a execução de lajes, como já visto, existem três tarefas genericamente consideradas: montagem de formas / placas; montagem de armaduras; concretagem. No projeto em questão, as atividades são realizadas em sequência, sem haver paralelismo de atividades, o que influencia diretamente na duração da execução.

Após definir as tarefas e suas dependências, o Ms Project calcula automaticamente as datas de início e término para cada tarefa. O processo utiliza de dois conceitos principais: a data de início mais cedo e a data de término mais tarde. A data de início mais cedo é a primeira data possível em que uma tarefa pode começar considerando as dependências anteriores. Após essa etapa, o Ms Project destaca visualmente essas tarefas, geralmente em vermelho, no gráfico de Gantt, como demonstra a figura 21.

Figura 21 – Diagrama de Gantt e Representação do CPM



(Autoria Própria, 2024)

3.1.5.3 Desenvolvimento do PERT

Para iniciar a abordagem probabilística, aplicou-se a técnica PERT (Program Evaluation and Review Technique), com base nas respostas obtidas no questionário. Para

cada atividade crítica dos diferentes tipos de laje, no qual, foram consideradas três estimativas de duração: otimista, mais provável e pessimista.

A partir desses dados, calculou-se a duração esperada utilizando a equação clássica do PERT:

$$te = \frac{a+4m+b}{6} \quad (6)$$

O objetivo da aplicação do PERT foi representar de forma mais realista a variação nas durações das atividades, considerando a incerteza natural presente na execução de obras. Cada valor esperado calculado substituiu a duração originalmente atribuída no cronograma base.

Antes disso, também foi gerado um cronograma de referência utilizando o método do Caminho Crítico (CPM), com as durações prováveis indicadas no questionário. Esse cronograma serviu como ponto de comparação determinístico, sem incorporar as incertezas.

A combinação dos cronogramas obtidos com o PERT permitiu observar os efeitos das variações de tempo de forma mais equilibrada. Esses resultados foram utilizados na etapa seguinte da investigação, que envolveu a aplicação da Simulação de Monte Carlo para aprofundar a análise dos riscos associados aos prazos estimados.

3.1.6 Desenvolvimento da Sim. de Monte Carlo (Software Risk Simulator)

Após a coleta de dados e a criação do PERT dos casos analisados, é possível desdobrar os dados a ponto de se atingir os histogramas através da SMC, nessa etapa é essencial identificar os dados de entrada (*inputs*) e de saída (*outputs*) com a modelagem das durações de atividades obtidas, com os cenários pessimista, otimista e mais provável. Nesse caso, o *software @Risk* atua como um suplemento de aplicação, ou seja, utiliza o *software Ms Excel* como base e incorpora ferramentas adicionais.

A relação entre os dados de entrada (*inputs*) e saída (*outputs*) está ligada à escolha da distribuição de probabilidade destinada a representar os riscos e imprevistos inerentes ao projeto.

Neste estudo de caso específico, empregou-se a distribuição PERT, uma escolha amplamente adotada na análise de riscos em projetos de construção, para tanto, uma vez

que foram estabelecidos os parâmetros de duração mínima e máxima considerando-se os cenários pessimista e otimista, realizou a aplicação da simulação.

O @Risk é um *software* de análise de gestão de riscos. Associando-se o @Risk ao Ms Project, pôde-se realizar Simulações Monte Carlo (SMC), que permitiu analisar diferentes tipos de cenários.

Inicialmente, exportou-se os projetos do Ms Project para uma planilha em formato compatível com o Excel, podendo dessa forma, obter-se os dados de duração de cada atividade. Para realizar a Simulação de Monte Carlo, foram utilizados os dados colhidos no questionário, obtendo então valores mínimos, prováveis e máximos para que o @Risk pudesse utilizá-los como amostras e assim, gerar os histogramas.

A Figura 22 representa a tabela com os dados do formulário já no Ms Excel com o @Risk agregado, logo, é possível observar uma nova guia com o nome “Risk Simulator”, é nesta que se trabalha o SMC.

Figura 22 - Tabela para SMC na guia do Risk Simulator

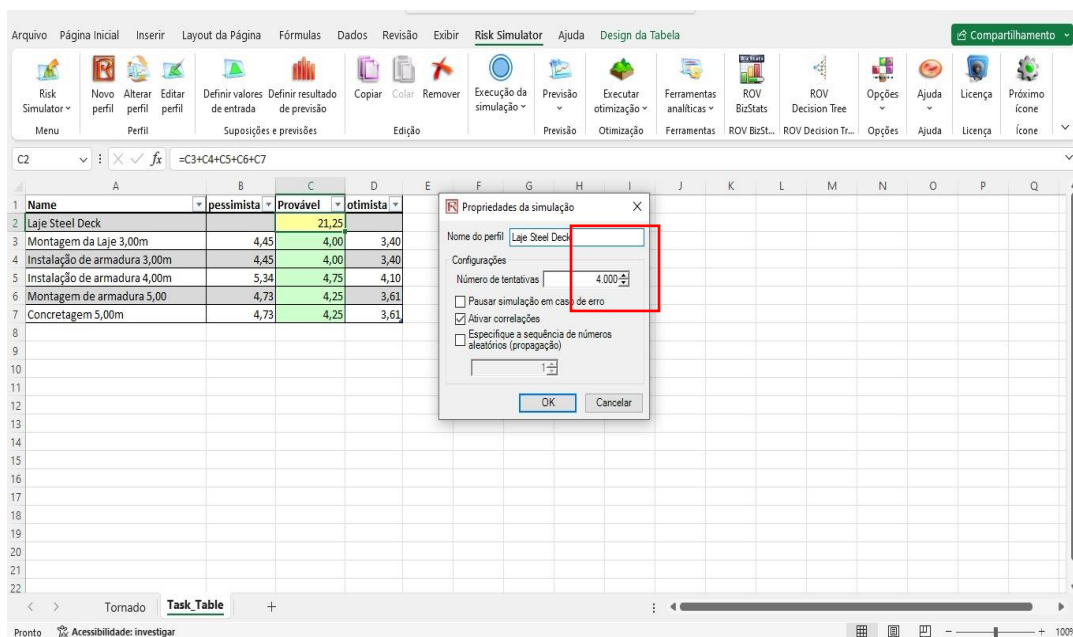
Name	pessimista	Provável	otimista
Laje Steel Deck		21,25	
Montagem da Laje 3,00m	4,45	4,00	3,40
Instalação de armadura 3,00m	4,45	4,00	3,40
Instalação de armadura 4,00m	5,34	4,75	4,10
Montagem de armadura 5,00	4,73	4,25	3,61
Concretagem 5,00m	4,73	4,25	3,61

(Autoria Própria, 2024)

Cria-se então, um novo perfil, onde é definido um título para simulação e a quantidade de iterações. Dessa maneira, quanto maior o número de iterações, mais próximo da realidade é o resultado apresentado. Para as simulações das lajes do estudo, foram realizadas 4000 iterações, conforme a Figura 23.

A célula selecionada para definir a simulação, deve ser a célula que contém o tempo total em dias para a execução das 3 lajes. Depois de criada a nova simulação, a célula fica automaticamente com a cor de preenchimento em amarelo.

Figura 23 - Painel de propriedades da simulação



(Autoria Própria, 2024)

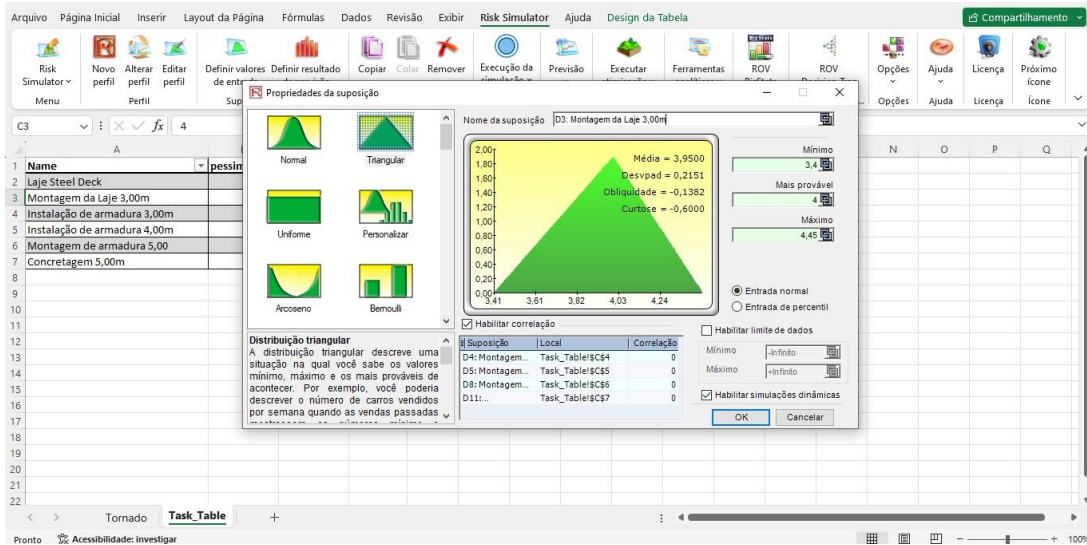
Na Figura 24, é possível ver células preenchidas em verde, as células ficam com esse preenchimento após serem definidas como valores de entrada. Nesse aspecto, para definir um valor de entrada, clica-se em “definir valores de entrada” (sinalizada em vermelho), e seguidamente a janela mostrada na figura 24 é aberta.

Como esse trabalho consiste em avaliar os cenários pessimistas, prováveis e otimistas, a simulação escolhida foi a triangular, ou seja, a distribuição PERT, já descrita anteriormente.

Assim sendo, como valor mínimo, foi definido as células pertencentes a coluna “otimista”, gerados pelo cenário otimista de acordo com as porcentagens de tempo reduzido de execução respondidas no questionário. O valor provável é o tempo médio de duração da execução de cada etapa respondido no formulário, assim como o valor máximo, são os valores encontrados no cenário pessimista.

Esse processo foi feito para cada linha da tabela. Como pode ser observado, a tabela só possui as tarefas críticas, já que são elas que ditam o tempo de duração da atividade.

Figura 24 - Dados de entrada para SMC



(Autoria Própria, 2024)

Com os máximos, prováveis e mínimos incluídos, é momento de executar a simulação. Após o @Risk calcular as 4.000 interações o histograma da Simulação de Monte Carlo é gerado. Com o histograma gerado, foi possível verificar o quadro de estatística que contém dados como a média, mediana, desvio padrão, variância, máximos e mínimos. Ainda nos histogramas, foi possível observar qual a possibilidade de cada laje ser executada dentro do tempo previsto pelo abordado pelo estudo de caso.

3.2 Produtividade e RUP's entre Lajes

Conforme o item 2.3.1.3, para se ter uma compreensão mais abrangente sobre a real eficiência das lajes, realizou-se um comparativo de produtividade e RUP's, que relacionam a execução da tarefa frente ao número de trabalhadores, conforme a duração e etapa realizada.

Nesse contexto, foi preciso normalizar o número de trabalhadores, dessa maneira, calculou-se a Razão Unitária de Produção (RUP) a partir da divisão entre o total de horas trabalhadas e a área executada (m²) para cada tipo de laje e vão, isto é, o inverso da produtividade. O total de horas foi obtido somando-se o produto entre o número de operários e a duração de cada tarefa (montagem da laje, montagem da armadura e concretagem), conforme os dados fornecidos nas três abordagens adotadas: questionário, estimativas ajustadas pelo método PERT e composições do SINAPI, como já explicitado.

3.3 Estudo de Caso: Desenvolvimento do Cenário A

Merriam (2009) considera o estudo de caso uma abordagem qualitativa que analisa intensivamente uma unidade de análise delimitada, a qual pode ser uma pessoa, organização, evento ou fenômeno específico.

Além disso, conforme Pozzo et al. (2019) destacaram a versatilidade do estudo de caso ao usá-lo em contextos educacionais e universitários. Eles argumentam que o estudo de caso facilita a análise comparativa entre instituições, permitindo examinar o contexto e as nuances específicas de cada caso, o que é particularmente útil para estudos que necessitam de adaptação e compreensão situacional, que se encontra como um dos objetivos desse estudo.

Gil (2010), descreve estudo de caso como uma modalidade de pesquisa com enfoque imersivo de seus objetivos. Na busca do detalhamento do conhecimento em questão, o autor relata diferentes propostas, tais como: explorar a vida real onde limites ainda não estão definidos; preservar a unicidade de algum objeto em questão; descrever a contextualização da investigação; elaborar hipóteses e teorias; e explicar as causas de fenômenos.

Dessa maneira, na segunda etapa da metodologia desse estudo foi utilizado a técnica de aplicação de questionário para a investigação. O questionário foi aplicado em formato online, por facilidade e conveniência do autor desse estudo para alcançar o maior número de amostras possível.

3.3.1 Questionário Aplicado

De acordo com Chaer et al. (2011), o questionário é um método utilizado para coletar informações da realidade. Na área acadêmica, ele pode ser uma ferramenta para melhor direcionar nas escolhas de questões como o uso de uma técnica ser indicada ou não para determinadas situações, a depender dos fatores analisados.

Para Rathi & Ronald (2022), o questionário é definido como uma ferramenta fundamental para coleta de dados em pesquisas empíricas, especialmente adequada para amostras grandes e dispersas geograficamente. Eles classificam os tipos de perguntas em fechadas (resposta fixa), abertas e mistas, e destacam que a formulação adequada das perguntas é essencial para obter respostas válidas e úteis.

Em seu estudo, Ranganathan & Caduff (2023), discutiram que o questionário dentro de uma filosofia positivista, serve para padronizar a coleta de dados. No entanto, destacam que essa padronização pode limitar o tipo de conhecimento gerado, já que o questionário restringe as respostas aos formatos e possibilidades definidos previamente pelo pesquisador.

Assim sendo, conforme Santos et al. (2019), dentre a diversidade de técnicas disponíveis, os questionários são as ferramentas mais aplicadas na investigação sociológica. Como vantagem, pode ser citado a garantia do anonimato do informante, o baixo custo, a não necessidade de uma resposta imediata e pode ser realizado em qualquer local, dispensando deslocamentos. As desvantagens incluem a restrição do instrumento a indivíduos com nível de escolaridade por vezes desajustado e a suscetibilidade a interpretações equivocadas, comprometendo a qualidade das respostas.

Desta forma, Chaer et al. (2011), enfatizam que em um questionário, a pergunta pode ser até mais importante que a resposta, logo, é importante que possuam boa construção, pois, é delas que se conseguirá, ou não, obter os dados para a confecção do trabalho.

O questionário aplicado para este trabalho, com o apoio do *Google Docs*, para seu desenvolvimento, e faz-se do uso tanto de perguntas objetivas quanto do de perguntas abertas, as quais exigiram uma melhor reflexão daqueles que o responderam.

Relativamente ao presente estudo, o questionário foi essencial para cumprir com os objetivos em questão, uma vez que se aproveitou dessa ferramenta para recolher informações diretamente ligadas a prática da execução de lajes, com isso, foi possível estabelecer uma base de dados para realizar a investigação.

3.3.2 Desenvolvimento do questionário

O questionário foi idealizado com o intuito de realizar uma base de dados condizentes com a realidade e execução de lajes, a fim de se obter as durações de cada etapa referente ao tipo de laje que o entrevistado possuía maior experiência para, então, se realizar o PERT/CPM com os cronogramas e tratamento de dados originários de suas respostas.

Além disso, como a duração está diretamente ligada a quantidade de trabalhadores, foi questionado o número de pessoas que participavam de determinada atividade que pertencia a laje que foi selecionada pelo entrevistado.

3.3.2.1 Questões do Questionário

Para que se esclareça como o foi o desdobramento da elaboração do questionário é importante ressaltar quais foram as perguntas realizadas. O questionário estará disponível ao fim desse trabalho no APÊNDICE A, o qual divide-se em 7 seções, com 101 questões ao todo.

Conforme Marconi & Lakatos (2017) relatam, ao início do questionário deve-se descrever em notas ou em cartas, a natureza da pesquisa, a importância e o porquê da sua demanda, dessa maneira, isso foi evidenciado no início do questionário aplicado, visando o interesse do entrevistado e obtendo-se o retorno dentro de um intervalo de tempo coerente.

A primeira seção do questionário foi destinada à identificação do perfil dos entrevistados, por meio das questões 1 a 3, abordando idade, área de atuação, tempo de experiência e empresa. Esta caracterização foi importante para validar a coerência das respostas, evitando distorções como estimativas de duração e quantitativos de trabalhadores incompatíveis com o modelo proposto.

Na seção 2, a partir da questão 5, os entrevistados selecionavam o tipo de laje de maior afinidade entre as opções: Alveolares, Maciças, Steel Deck ou Vigotas Aligeiradas. Conforme a escolha, o participante era direcionado para as seções 3 a 6, específicas de cada tipo de laje.

Antes da estimativa de durações e quantitativos, foram apresentadas algumas condicionantes: cargas usuais de edificações de pequeno a médio porte, acesso a caminhão betoneira, organização do canteiro e posicionamento adequado dos recursos. Também foi disponibilizado um projeto genérico com croquis das lajes para apoiar a análise visual das dimensões (3, 4 e 5 metros de vão).

Tomando como exemplo a escolha pela laje de vigotas, a sequência de questões compreendia a estimativa da duração e número de trabalhadores para montagem de formas e escoras (questões 6 e 7), montagem de armaduras (questões 8 e 9) e concretagem (questões 10 e 11), considerando o uso de betão pronto.

Além disso, foram solicitadas estimativas de variação percentual das durações para construção dos cenários otimista (questão 13) e pessimista (questão 12), fundamentais para a análise PERT. Este procedimento foi repetido para os três vãos e para todos os sistemas construtivos. A seção 7 foi dedicada ao encerramento e agradecimento aos participantes.

3.3.2.2 Aplicação do questionário

Em média, segundo Marconi & Lakatos (2017), apenas 25% da quantidade de questionários aplicadas são recebidas, nesse aspecto, o questionário em questão, foi enviado em massa com o recurso da internet e já citado *Google Docs*.

A principal ferramenta utilizada para o envio foi o aplicativo *Whatsapp*, pelo qual se obteve maior retorno por parte dos entrevistados por conta de sua comodidade de uso e facilidade de contato.

Com o objetivo de alcançar a maior abrangência possível de respostas, os questionários foram enviados para profissionais de diversas regiões do Brasil, incluindo engenheiros civis, técnicos de obras e mestres de obras. A divulgação foi feita por meio de grupos de contatos pessoais, construtoras e empresas do setor da construção civil, considerando-se que, conforme mencionado anteriormente, os índices de retorno costumam ser baixos.

3.3.3 Tratamento de Dados obtidos

Nesta etapa, os dados coletados no Cenário “A” foram organizados e processados a fim de viabilizar a aplicação das metodologias de análise do tempo e risco.

As respostas foram organizadas e agrupadas em tabelas, as quais continham os dados fornecidos por cada entrevistado conforme tipo de laje considerado e, assim, para cada vão, foi considerado as durações e quantidade de trabalhadores por tarefa. A título de exemplo, na tabela 4 a seguir, temos as respostas advindas dos entrevistados para a laje de vigotas protendidas.

Tabela 4 - Respostas obtidas das lajes de vigotas protendidas

Lajes Vigotas	TAREFAS E Operadores (OP)						Cenários	
	MONT. DAS FORMAS E ESCORAS	OP	MONT. DA ARMADURA	OP	BETONAGEM	OP	Pessim	Otim.

5 METROS (200m2)	Dias	Nº	Dias	Nº	Dias	Nº	%	%
Pessoa 1	3	4	1	3	1	2	30	10
Pessoa 2	7	4	5	4	1	6	20	5
Pessoa 3	6	4	4	2	0,5	2	20	10
Pessoa 4	2	4	1	4	1	4	20	10
Pessoa 5	13	3	7	2	0,5	2	30	20
4 METROS (191m2)	Dias	Nº	Dias	Nº	Dias	Nº	%	%
Pessoa 1	3	4	1	2	1	3	30	10
Pessoa 2	6	4	4	4	1	6	20	5
Pessoa 3	5	4	2	2	0,5	2	20	10
Pessoa 4	2	4	1	3	1	3	20	20
Pessoa 5	11	2	6	2	0,5	2	30	20
3 METROS (189m2)	Dias	Nº	Dias	Nº	Dias	Nº	%	%
Pessoa 1	3	4	1	2	1	3	30	10
Pessoa 2	6	4	5	4	1	6	20	5
Pessoa 3	3	4	2	1	0,5	2	20	10
Pessoa 4	2	3	1	3	1	3	25	25
Pessoa 5	10	2	5	2	0,5	2	30	20

(Autoria Própria, 2024)

Diante das respostas obtidas, obteve-se a média final de duração e de trabalhadores por tarefa. Com a somatória dessas médias, alcançou-se as durações globais prováveis de cada tipo e vão de laje.

Nota-se também, a presença das porcentagens indicadas pelos entrevistados com o intuito de relacionar as durações considerados frente a um cenário otimista e pessimista, como já observado, as respostas serviram de acréscimo ou redução de tempo nas médias de durações globais encontradas, ou seja, nas durações prováveis médias. Assim sendo, a compilação desses dados será evidenciada no capítulo 4.

3.4 Tabelas SINAPI: Desenvolvimento do Cenário B

Para a realização do outro cronograma, o qual pertence a uma segunda fase da coleta de dados do trabalho, foi preciso determinar a produtividade de cada trabalhador, expresso em horas, para determinada atividade, ou seja, qual seria quantidade de tempo que um trabalhador executa tal serviço. Onde foi possível concluir que a quantidade de horas em função do tipo de laje em execução pelo trabalhador varia.

Dessa forma, foi necessário realizar composições de serviço para cada tipo de laje e seus respectivos trabalhadores. Essas lajes que serão apresentadas a seguir foram

baseadas na tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) do Brasil.

3.4.1 Composições de Serviço

Como já dito, cada trabalhador possui um coeficiente de horas de trabalho referente a uma tarefa, ou seja, a RUP (Razão Unitária de Produção), que pode ser expresso por exemplo em h/m², h/ kg, entre outros, que por sua vez, pertence a uma etapa do processo e tipo de laje.

Para a seleção e extração correta dos coeficientes de mão de obra das tabelas SINAPI, foi tomado como definição algumas características padrão, bem como, a espessura, para que todas as lajes tivessem a mesma característica, que foi de 15cm.

Nesse contexto, foi considerado carregamentos de lajes usuais. Para as cargas permanentes foram consideradas o peso próprio (já considerado pela tabela) com revestimento de 100kgf/m², e para cargas acidentais 300 kgf/m², considerados para edificações de pequeno a médio porte.

Para esse trabalho foi desconsiderado o tempo de cura do concreto, pois o focou-se apenas no processo de execução em si.

3.4.1.1 Lajes Maciças

Para a composição de serviço de lajes maciças, foram consideradas 3 tarefas, as mesmas que foram aplicadas no questionário, indicadas abaixo:

1. Montagem e desmontagem de forma de laje;
2. Armação da laje;
3. Concretagem

A laje maciça possui uma peculiaridade, pois uma vez que não existe uma composição pronta na tabela da SINAPI, é necessário realizar uma composição através de outras já existentes. Assim sendo, inicialmente, foi preciso realizar um dimensionamento, feito através do *software* Eberick, da AltoQI, para definição e quantitativos de formas, armaduras e concreto, conforme os tipos de vãos em análise.

De acordo com o *software* Eberick, para uma laje de vão de 3,00m e área de 189m² serão utilizadas armaduras de diâmetro de 5,0mm CA60 e 6,3mm CA50. Os quantitativos podem ser vistos na tabela 5.

Tabela 5 - Quantitativo de materiais para laje de 3,00m de vão

Laje com vão de 3,00m		Total
Peso total (kg)	CA50 Φ 6,3	239.5
	CA60 Φ 5,0	484.6
	Total	724.1
Volume concreto (m ³)	C-25	20.0
Área de forma (m ²)		166.7
Consumo de aço (kg/m ³)		36.2

(Autoria Própria, 2024)

Para a laje de 4,0m de vão e área de 191m², o software recomenda o uso de aço CA60 de 5,0mm de diâmetro e aço CA 50 com diâmetro de 8,0mm. Como pode ser observado na tabela 6, o consumo de concreto e de aço aumenta com relação a laje com área menor.

Tabela 6 - Quantitativo de materiais para laje de 4,00m de vão

Laje com vão de 4,00m		Total
Peso total (kg)	CA50 Φ 8,0	358.0
	CA60 Φ 5,0	549.6
	Total	907.6
Volume concreto (m ³)	C-25	21.1
Área de forma (m ²)		175.5
Consumo de aço (kg/m ³)		43.1

(Autoria Própria, 2024)

Já para laje com vão de 5,0m, por se tratar de uma laje com vão de 5,0m e área de 200m², o *software* Eberick recomenda uma variação maior de materiais. Também pode ser observado, por sua vez, na tabela 7, que os diâmetros utilizados para as armaduras em aço CA 50 são de 8,0 e 10,0mm, e ainda, aço CA 60 de diâmetro de 5,0mm.

Tabela 7 - Quantitativo de materiais para laje de 5,00m de vão

Laje com vão de 5,00m		Total
Peso total (kg)	CA50 Φ 8,0	929.8
	CA 50 Φ 10,0	537.9
	CA60 Φ 5,0	114.9
	Total	1582.7
Volume concreto (m ³)	C-25	22.4
Área de forma (m ²)		186.6
Consumo de aço (kg/m ³)		70.7

(Autoria Própria, 2024)

Uma vez dimensionadas as lajes conforme os vãos e áreas, temos a quantidade de formas em m², aço em Kg, conforme diâmetro das armaduras necessárias e, por fim,

concreto, em m³. De acordo com a tabela 8, é possível observar o quantitativo de materiais para a laje maciça.

Tabela 8 - Tabela de quantitativo de aço para lajes maciças

Materiais	Unid.	5 metros	4 metros	3 metros
Área de Forma	m ²	186,6	175,5	166,7
Aço Φ 5,0mm	Kg	114,9	549,6	239,5
Aço Φ 6,3mm	Kg	0	0	484,6
Aço Φ 8,0mm	Kg	929,8	358	0
Aço Φ 10,0mm	Kg	537,9	0	0
Concreto	m ³	22,4	21,1	20

(Autoria Própria, 2024)

Dessa maneira, para a etapa de montagem e desmontagem das formas, de acordo com a SINAPI, pela composição 92510, é necessária a mão de obra do ajudante de carpinteiro e do carpinteiro. Para esse caso, multiplica-se o coeficiente apresentado em horas pela tabela SINAPI pela área das formas a ser montada.

Essa área foi obtida com o auxílio do *software* Eberick, como já apresentada nas tabelas de quantitativo. Pela tabela 9, demonstra-se os coeficientes unitários e as horas de trabalho necessárias, conforme serviço para cada vão de laje estudado. Ressalta-se que nesse caso, está a se considerar apenas um trabalhador.

Tabela 9 - Coeficientes de serviços de mão de obra para a etapa de montagem das formas das lajes maciças

Montagem e desmontagem de fôrma de laje (m²) – SINAPI 92510			Vão de 3,00m	Vão de 4,00m	Vão de 5,00m
Serviço	unidade	Coeficiente	Horas trabalho	Horas trabalho	Horas trabalho
Ajud. de carpinteiro	h	0,126	21,00	22,11	23,51
Carpinteiro de formas	h	0,687	114,52	120,57	128,19

(Autoria Própria, 2024)

Assim, para a tarefa armação da laje, visto que, usa-se para esse tipo de laje diferentes diâmetros de aço, têm-se os serviços e coeficientes.

Os coeficientes de mão de obra apresentados são encontrados através das composições na tabela SINAPI, referente a armação de laje de estrutura convencional de concreto armado. Vale salientar que há uma composição referida para cada diâmetro de aço, demonstradas na tabela 10.

Tabela 10 - Diâmetros e coeficientes de mão de obra de armação para as lajes maciças

Armação de laje de estrutura convencional de concreto armado (kg)									
Serviço	unid.	Coeficiente Aço Φ 5,0		Coeficiente Aço Φ 6,3		Coeficiente Aço Φ 8,0		Coeficiente Aço Φ 10,0	
		Código	92768	Código	92769	Código	92770	Código	92771
Ajud. de armador	h	0,0136		0,0098		0,0066		0,0042	
Armador	h	0,0836		0,0597		0,0403		0,0259	

(Autoria Própria, 2024)

Nessa composição, para o Aço Φ 5,0, um ajudante de armador, gasta 0,0136 horas para dobrar 1 kg de material, por exemplo. Por essa linha de raciocínio, os coeficientes foram multiplicados pelo peso, em Kg de aço para cada laje pelo quantitativo de materiais já realizado.

Assim sendo, na tabela 11, obteve-se as durações de trabalho necessário para dobrar a quantidades de aço dimensionadas, considerando-se a função do trabalhador e diâmetro de aço. Ao fim, temos as durações de trabalho necessário para cada serviço para um trabalhador.

Tabela 11 - Durações de horas trabalho para armação de lajes

Laje	Serviço	Horas trabalho (h)				Total (h)
		Coeficiente Aço Φ 5,0	Coeficiente Aço Φ 6,3	Coeficiente Aço Φ 8,0	Coeficiente Aço Φ 10,0	
Vão 3,00m	Ajud. de armador	3,26	4,75	-	-	8,01
	Armador	20,02	28,93	-	-	48,95
Vão 4,00m	Ajud. de armador	7,47	-	2,36	-	9,84
	Armador	45,95	-	14,43	-	60,37
Vão 5,00m	Ajud. de armador	1,56	-	6,14	2,26	9,96
	Armador	9,61	-	37,47	13,93	61,01

(Autoria Própria, 2024)

Assim, para a etapa 3, analogamente, como foi realizado para as outras etapas, considerando-se a composição 103673, que se refere a concreto bombeado, assim temos a tabela 12, logo abaixo, com os coeficientes unitários de trabalho de concretagem em h/m³.

Além disso, foram explicitados os respectivos coeficientes de cada laje de acordo com o volume de concreto para cada vão conforme os resultados do *software* Eberick.

Tabela 12 – Coeficientes para a etapa de concretagem das lajes maciças

Concretagem (m ³) – SINAPI 103673			Vão de 3,00m	Vão de 4,00m	Vão de 5,00m
Serviço	unidade	Coeficiente	Horas trabalho	Horas trabalho	Horas trabalho
Carpinteiro	h	0,224	4,48	4,73	5,02
Pedreiro	h	0,224	4,48	4,73	5,02
Servente	h	1,345	26,90	28,38	30,13

(Autoria Própria, 2024)

3.4.1.2 Laje *Steel Deck*

Para a composição de serviço das lajes de *Steel Deck* foram consideradas 3 etapas:

- 1. Montagem das lajes, formas e escoramentos; - 2. Montagem das armaduras;
- 3. Concretagem

Com relação lajes mistas de *Steel Deck*, sua composição analítica no acervo das tabelas SINAPI é a 100779, como demonstra a figura 25. Assumiu-se a espessura da laje em 15cm apenas para esse caso.

Figura 25 - Composição 100779 da SINAPI

Código	Descrição Composição		Unid.	
100779	LAJE STEEL DECK PARA PISO COM CAPA DE CONCRETO FCK 20 MPA, ESPESSURA DA LAJE 15 CM, ESPESSURA DA CHAPA 0,95 MM, INCLUSIVE IÇAMENTO COM GUINDASTE. AF_01/2020		M2	
Tipo	Código	Descrição	Und.	Coef.
C	103677	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM JERICAS EM ELEVADOR DE CABO EM EDIFICAÇÃO DE MULTIPAVIMENTOS ATÉ 16 ANDARES - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022	M3	0,117
C	100780	SOLDA EM PINO STUD BOLT. AF_01/2020	UN	2,49
C	93288	GUINDASTE HIDRÁULICO AUTOPROPELIDO, COM LANÇA TELESCÓPICA 40 M, CAPACIDADE MÁXIMA 60 T, POTÊNCIA 260 KW - CHI DIURNO. AF_03/2016	CHI	0,0106
C	93287	GUINDASTE HIDRÁULICO AUTOPROPELIDO, COM LANÇA TELESCÓPICA 40 M, CAPACIDADE MÁXIMA 60 T, POTÊNCIA 260 KW - CHP DIURNO. AF_03/2016	CHP	0,0106
C	91598	ARMAÇÃO DO SISTEMA DE PAREDES DE CONCRETO, EXECUTADA COMO ARMADURA POSITIVA DE LAJES, TELA Q-113. AF_06/2019	KG	1,8
C	88317	SOLDADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,083
C	88278	MONTADOR DE ESTRUTURA METÁLICA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,125
C	88240	AJUDANTE DE ESTRUTURA METÁLICA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,083
I	44286	PARAFUSO AUTO BROCANTE 12 X 7/8" COM ARRUELA DE VEDACAO EPDM	UN	3,869
Tipo	Código	Descrição	Und.	Coef.
I	43124	CHAPA EM ACO GALVANIZADO PARA STEEL DECK, COM NERVURAS TRAPEZOIDAIS, LARGURA UTIL DE 915 MM E ESPESSURA DE 0,95 MM	M2	1,004
I	11047	CHAPA DE ACO GALVANIZADA BITOLA GSG 19, E = 1,11 MM (8,88 KG/M2)	KG	0,072
I	10997	ELETRODO REVESTIDO AWS - E7018, DIAMETRO IGUAL A 4,00 MM	KG	0,01

(CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2023)

Analogamente à laje maciça, foram contabilizados os respectivos coeficientes de produtividade, para se obter as durações de cada tarefa da laje *Steel Deck*. Assim sendo, temos como parte da primeira tarefa, as composições 88240, 88278 e 88317, já para a segunda, temos a composição 91598 e, por último, a 103677.

3.4.1.3 Vigotas pré-moldadas protendidas

Para essa laje fora consideradas as seguintes etapas:

- 1. Montagem das formas e escoramentos; - 2. Montagem das armaduras;
- 3. Concretagem

Para as lajes de vigotas, sua composição na SINAPI, é a 101959, como demonstra a figura 26.

Figura 26 - Composição 101959 da SINAPI

Código / Seq.	Descrição da Composição	Unidade
01.FUES.LAJE.029/01	LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA, ENCHIMENTO EM EPS, VIGOTA PROTENDIDA, ALTURA TOTAL DA LAJE (ENCHIMENTO+CAPA) = (8+4). AF_11/2020_PA	M2
Código SIPC		Situação
101959		SEM CUSTO
Vigência: 11/2020 Última Atualização: 05/2023		

COMPOSIÇÃO					
Item	Código	Descrição	Situação	Unid.	Coef.
I	6193	TABUA NAO APARELHADA *2,5 X 20* CM, EM MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	ATIVO	M	1,00000
I	40304	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	ATIVO	KG	0,02100
I	43349	LAJE PRÉ-MOLDADA PROTENDIDA (LAJOTAS + VIGOTAS) COM LAJOTA EM POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS), H8, 33 X 100 X 8 CM (L X C X A) E VIGOTA VPT 10 X 9 CM (L X A), PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 350 KGF/M2, VAO ATE 10,00 M (SEM COLOCACAO)	SEM PREÇO	M2	1,00000
C	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	ATIVO	H	0,21000
C	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	ATIVO	H	0,14900
C	92273	FABRICAÇÃO DE ESCORAS DO TIPO PONTALETE, EM MADEIRA, PARA PÉ-DIREITO SIMPLES. AF_09/2020	ATIVO	M	0,41000
C	92767	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 4,2 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	ATIVO	KG	1,21100
C	103674	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES PREMOLDADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	ATIVO	M3	0,04200

(CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2023)

Através dos RUP's, é possível realizar os cálculos para se perceber a duração de cada tarefa. Esse procedimento foi feito analogamente às lajes anteriores.

3.4.1.4 Alveolares

Para as lajes alveolares, o processo de cálculo implementado foi parecido com a laje maciça. Nesse caso, foi necessário realizar uma soma de composições, isto é, compilar 3 composições, pois não consta na tabela SINAPI uma composição única para esse serviço.

Sendo assim, foi considerado, para a 1ª tarefa, a montagem das placas pela composição 97721, representada na figura 27.

Figura 27 - Composição 97721 da SINAPI

Código / Seq.	Descrição da Composição	Unidade
01.FUES.PREM.003/01	FORNECIMENTO E MONTAGEM DE LAJES ALVEOLARES PARA EDIFÍCIOS DE ATÉ 2 PAVIMENTOS, INCLUSO IÇAMENTO COM GUINDASTE. AF_01/2018	M³
Código SIPCI		
XXXXX		
Vigência:	01/2018	Última atualização: 01/2018

COMPOSIÇÃO				
Item	Código	Descrição	Unidade	Coefficiente Aferido
C	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1250
C	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,2500
C	89272	GUINDASTE HIDRÁULICO AUTOPROPELIDO, COM LANÇA TELESCÓPICA 28,80 M, CAPACIDADE MÁXIMA 30 T, POTÊNCIA 97 KW, TRAÇÃO 4 X 4 - CHP DIURNO. AF_11/2014	CHP	0,0500
C	89273	GUINDASTE HIDRÁULICO AUTOPROPELIDO, COM LANÇA TELESCÓPICA 28,80 M, CAPACIDADE MÁXIMA 30 T, POTÊNCIA 97 KW, TRAÇÃO 4 X 4 - CHI DIURNO. AF_11/2014	CHI	0,0750
I	*	LAJE ALVEOLAR PRE-FABRICADA *125 X 25* CM	M³	1,0000

(CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2023)

Para fins comparativos, foi considerado para esse tipo de laje, uma capa de concreto de 4cm. Sendo assim, considerou-se a composição 92727, para se realizar os procedimentos necessários de cálculo para contabilizar a duração da 2ª tarefa, de armação de laje, como demonstra a figura 28.

Figura 28 - Composição 92767 da SINAPI

Código / Seq.	Descrição da Composição	Unidade
01.FUES.ARMD.009/01	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 4,2 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	KG
Código SIPCI		Situação
92767		ATIVO
Vigência: 12/2015 Última Atualização: 06/2022		

COMPOSIÇÃO					
Item	Código	Descrição	Situação	Unid.	Coef.
I	39017	ESPAÇADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLÁSTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	ATIVO	UN	2,81600
I	43132	ARAME RECOZIDO 16 BWG, D = 1,65 MM (0,016 KG/M) OU 18 BWG, D = 1,25 MM (0,01 KG/M)	ATIVO	KG	0,02500
C	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	ATIVO	H	0,01720
C	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	ATIVO	H	0,10550
C	92799	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-60, DIÂMETRO DE 4,2 MM. AF_06/2022	ATIVO	KG	1,00000

(CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2023)

E para a última tarefa, foi considerada semelhantemente a laje maciça, a composição 103673, como demonstra a figura 29.

Figura 29 - Composição 103673 da SINAPI

Código / Seq.	Descrição da Composição	Unidade
01.FUES.CCTG.005/02	LANÇAMENTO COM USO DE BOMBA, ADENSAMENTO E ACABAMENTO DE CONCRETO EM ESTRUTURAS. AF_02/2022	M3
Código SIPCi		Situação
103673		ATIVO
Vigência: 02/2022 Última Atualização: 02/2022		

COMPOSIÇÃO					
Item	Código	Descrição	Situação	Unid.	Coef.
C	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	ATIVO	H	0,22400
C	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	ATIVO	H	0,22400
C	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	ATIVO	H	1,34500
C	90586	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	ATIVO	CHP	0,09400
C	90587	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	ATIVO	CHI	0,13000

(CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2023)

3.4.1.5 Cálculo das durações com as tabelas SINAPI

Em resumo, as durações das atividades foram também estimadas a partir das composições da tabela SINAPI, que fornece coeficientes médios de produtividade em diferentes unidades (como h/m², h/m³ e h/kg), dependendo da natureza da atividade.

Para obter a duração total de cada etapa, esses coeficientes foram multiplicados pelas quantidades envolvidas em cada caso: área da laje para composições em h/m², volume de concreto (área × espessura) para composições em h/m³ e massa de aço (obtida a partir de taxas médias de armadura) para composições em h/kg.

No cálculo, foi considerado a quantidade média de trabalhadores que os engenheiros informaram no questionário para cada etapa (formas, armadura e concretagem).

Assim, em vez de assumir que apenas um operário executa o serviço, como é padrão SINAPI, multiplicou-se o tempo pelo número médio de trabalhadores utilizado na prática. Essa escolha permite estimar a duração total das tarefas de forma mais realista e compatível com o que se observa nos canteiros de obra, além de possibilitar uma análise comparativa com os mesmos parâmetros, tanto para a SINAPI quanto para o questionário.

Após a multiplicação, os valores foram convertidos em dias úteis considerando uma jornada diária de 8 horas. Esse procedimento foi aplicado a todas as tipologias de laje e serviu como base teórica para comparação com os dados obtidos por meio do questionário.

Deste modo, finalizada a descrição dos métodos adotados, o próximo capítulo apresenta os resultados obtidos por meio da aplicação prática das metodologias descritas, abrangendo a análise comparativa entre os sistemas construtivos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise dos dados

Nesse capítulo, após a etapa de levantamento dos dados baseados no formulário e nas bases de dados (SINAPI), temos a compilação de dados com respectivas durações e produtividades conforme tipo de laje e vão através do CPM. Para os dados baseados no estudo de caso, a partir do PERT, foram obtidas as durações esperadas.

O questionário online foi aplicado no período de março a abril de 2024, a fim de realizar o levantamento de dados de execução e cronograma de lajes. Todos os profissionais entrevistados se declararam engenheiros civis, com experiência mínima na área de gestão de obras de 1 ano. O tamanho da amostra de profissionais obtida se deu pelo alcance da internet, utilizando de aplicativos de bate-papo, redes sociais e networking de pessoas. Foram obtidas 15 respostas, numa amostra de 42 envios, sendo as respostas obtidas distribuídas por: 5 para laje de vigotas, 4 para “*Steel Deck*”, 3 para maciças e 3 para alveolares.

4.1.1 Laje Maciça

O processo da laje Maciça foi dividido em montagem, armação e concretagem, com médias de 5, 4 e 4 trabalhadores por tarefa, conforme o questionário. Os trabalhadores foram distribuídos igualmente em cada etapa, seguindo a composição do SINAPI.

4.1.1.1 Laje maciça para vão de 5 metros

A seguir são apresentadas as tabelas que possuem as durações finais da execução da laje, incluindo-se o número de trabalhadores por tarefa, primeiramente com os dados relativos ao estudo de caso e após a base de dados da tabela SINAPI.

Tabela 13 - Duração Laje Maciça com vão de 5 metros (obtida por questionário)

Questionário					
Laje Maciça	Vão (m)	5	Área (m ²)	200	Cenário (h)
Tarefa			Operários	Provável	
MONTAGEM DA LAJE			5	61,28	

MONTAGEM DA ARMADURA	4	40,00
CONCRETAGEM	4	18,67
TOTAL		119,95h
		119,95

(Autoria Própria, 2024)

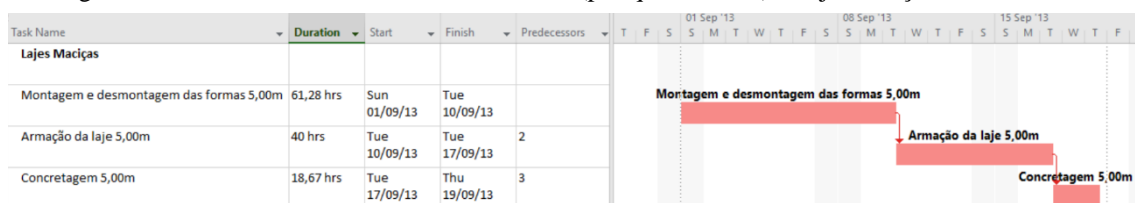
Tabela 14- Duração Laje Maciça com vão de 5 metros (SINAPI)

SINAPI					
Laje Maciça	Vão (m)	5	Área (m ²)	200	
Tarefa		Operários		Horas Trabalho (h)	Duração Crítica (h)
MONTAGEM DA LAJE	Ajudante de carpinteiro		3	7,84	64,10
	Carpinteiro de formas		2	64,10	
MONTAGEM DA ARMADURA	Ajudante de armador		2	4,98	30,51
	Armador		2	30,51	
CONCRETAGEM	Carpinteiro		1	5,38	16,14
	Pedreiro		1	5,38	
	Servente		2	16,14	
TOTAL					110,74

(Autoria Própria, 2024)

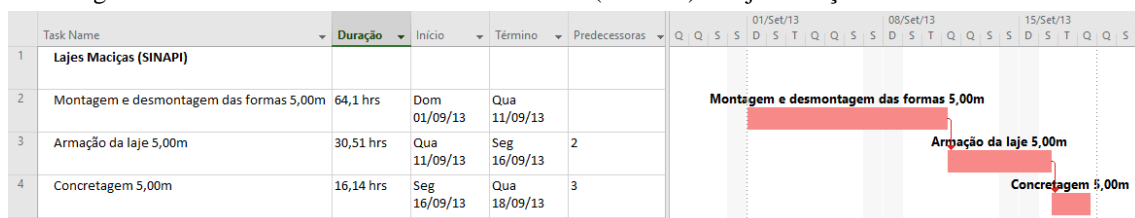
Como demonstra o gráfico de Gantt, pelas figuras 30 e 31, pode-se perceber que a tarefa mais impactante em ambos os casos foi a montagem da laje, isso deve-se ao próprio sistema construtivo que implica que depende da fabricação e montagem de formas.

Figura 30 – Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) - Laje Maciça vão de 5metros



(Autoria Própria, 2024)

Figura 31 – Gráfico Gantt com Caminho Crítico (SINAPI) - Laje Maciça com vão de 5 metros



(Autoria Própria, 2024)

Nota-se que as durações em horas da montagem da laje, foram de 61,28 horas respondido no questionário e 64,10 horas conforme a tabela SINAPI, além disso, é tarefa com maior número de trabalhadores, as quais possuem 5 operários em ambas as situações.

As durações totais obtiveram uma diferença percentual de apenas 8,38 %, onde pelo questionário foi de 119,95 horas e pela SINAPI, obteve-se pelas durações críticas, 110,74 horas.

Para o questionário, também se obteve as durações dos cenários pessimista e otimista, que em média, obteve se um acréscimo de duração em 17,33% como demonstra os resultados a tabela 15 a seguir.

Tabela 15 – Cenários pessimista e otimista da Laje Maciça com vão de 5 metros (obtido por questionário)

		Questionário			
Laje Maciça	Vão (m)	5	Área (m²)	200	Cenário (horas)
Tarefa		Operários		Pessimista (+17,33%)	Otimista (-10,00%)
MONTAGEM DA LAJE		5		71,92	55,20
MONTAGEM DA ARMADURA		4		46,93	36,00
CONCRETAGEM		4		21,90	16,80
TOTAL				140,80	108h

(Autoria Própria, 2024)

Para o cenário pessimista obteve a duração de 140,80 horas. Em relação ao cenário otimista obteve-se uma redução de 10%, com total de 108 horas.

4.1.1.2 Laje maciça para vão de 4 metros

Analogamente, para o vão de 4 metros, temos as informações relativamente ao tempo total de execução da laje, como feito no item anterior, a seguir temos os dados relativos ao questionário e SINAPI, demonstrado na tabela 16 e 17.

Tabela 16 – Duração Laje Maciça com vão de 4 metros (obtida por questionário)

		Questionário			
Laje Maciça	Vão (m)	4	Área (m²)	191	Cenário (h)
Tarefa		Operários		Provável	
MONTAGEM DA LAJE		5		56	
MONTAGEM DA ARMADURA		4		37,33	
CONCRETAGEM		4		13,33	
TOTAL				106,67h	

(Autoria Própria, 2024)

Tabela 17 - Duração Laje Maciça com vão de 4 metros (SINAPI)

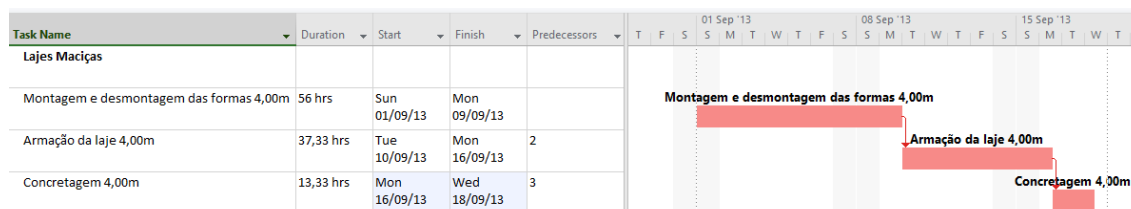
SINAPI					
Laje Maciça	Vão (m)	4	Área (m ²)	191	
Tarefa		Operários		Horas Trabalho (h)	Duração Crítica (h)
MONTAGEM DA LAJE	Ajudante de carpinteiro	3	7,37	60,29	
	Carpinteiro de formas	2	60,29		
MONTAGEM DA ARMADURA	Ajudante de armador	2	4,92	30,19	
	Armador	2	30,19		
CONCRETAGEM	Carpinteiro	1	5,13	15,41	
	Pedreiro	1	5,13		
	Servente	2	15,41		
TOTAL					105,88h

(Autoria Própria, 2024)

Dessa maneira, temos as durações finais de cada caso, além disso, percebe-se como característica construtiva dessa laje, que a tarefa “Montagem da Laje”, com 5 trabalhadores ao todo, permanece como a que mais possui trabalho demandado, evidencia-se isso com os diagramas de Gantt a seguir, pelas figuras 32 e 33.

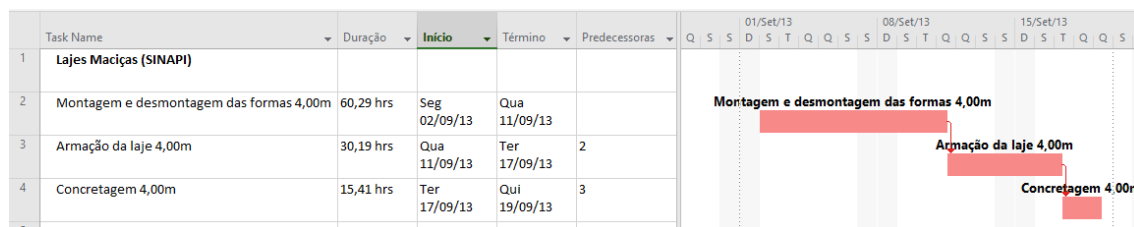
Nota-se a redução da duração de todas as tarefas referente ao vão de 5 metros.

Figura 32 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje Maciça com vão de 4 metros



(Autoria Própria, 2024)

Figura 33 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (SINAPI) de Laje Maciça com vão de 4 metros



(Autoria Própria, 2024)

A duração total da execução da laje com vão de 4 metros, pelo questionário foi de 106,67 horas, enquanto pela tabela SINAPI, foram de 105,88 horas, com uma diferença de 0,68%. Seguidamente, temos as durações dos cenários pessimista e otimista, obtidas através do questionário, respectivamente, demonstrado na tabela 18.

Tabela 18 – Cenários pessimista e otimista de Lajes Maciças com vão de 4 metros (obtido por questionário)

Questionário					
Laje Maciça	Vão (m)	4	Área (m²)	191	Cenário (h)
Tarefa		Operários	Pessimista (+15,00%)	Otimista (-8,33%)	
MONTAGEM DA LAJE		5	64,40	51,33	
MONTAGEM DA ARMADURA		4	42,93	34,22	
CONCRETAGEM		4	15,33	12,22	
TOTAL			122,67	97,78	

(Autoria Própria, 2024)

Para o cenário pessimista tivemos a quantidade horas totais acrescidas em 15,00%, sendo assim, totalizando 122,67 horas, por outro lado, para o cenário otimista reduziu-se em 8,33%, com 97,78 horas.

4.1.1.3 Laje maciça para vão de 3 metros

Relativamente, ao vão de 3 metros, igualmente aos itens anteriores, temos os dados das durações totais de cada laje, como demonstra as tabelas 19 e 20.

Tabela 19 - Duração Laje Maciça com vão de 3 metros (obtida por questionário)

Questionário					
Laje Maciça	Vão (m)	3	Área (m²)	189	Cenário (h)
Tarefa		Operários	Provável		
MONTAGEM DA LAJE		5	53,33		
MONTAGEM DA ARMADURA		4	32,00		
CONCRETAGEM		4	10,67		
TOTAL			96,00		

(Autoria Própria, 2024)

Tabela 20 - Duração Laje Maciça com vão de 3 metros (SINAPI)

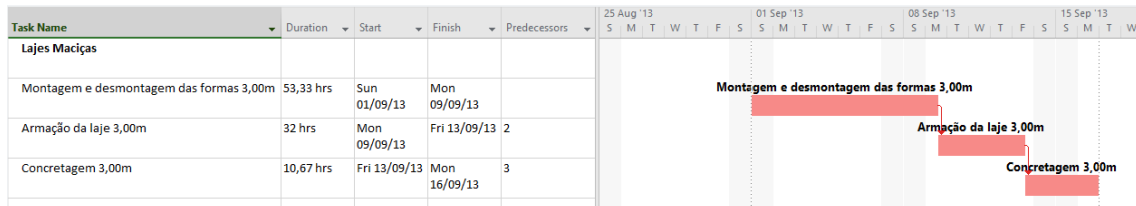
SINAPI						
Laje Maciça	Vão (m)	3	Área (m²)	189	Horas Trabalho (h)	Duração Crítica (h)
Tarefa		Operários				
MONTAGEM DA LAJE	Ajudante de carpinteiro	3	7,00	57,26		
	Carpinteiro de formas	2	57,26			
MONTAGEM DA ARMADURA	Ajudante de armador	2	4,01	24,48		
	Armador	2	24,48			
CONCRETAGEM	Carpinteiro	1	5,07	15,21		
	Pedreiro	1	5,07			
	Servente	2	15,21			
TOTAL			13			96,95

(Autoria Própria, 2024)

Como já percebido pelos vãos anteriores, temos a montagem da laje como tarefa mais duradoura. No total, temos a duração de 96 horas para o questionário aplicado e 96,95 horas com base na tabela SINAPI, apresentando-se uma diferença percentual de (-0,99%), indicando que o tempo do questionário foi ligeiramente menor que o da SINAPI.

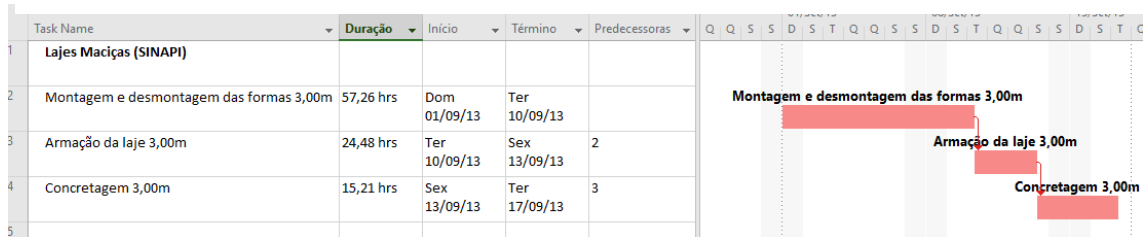
Percebe-se pelo diagrama de Gantt a diferença relacionada as cargas de trabalho pertencentes a cada caso, conforme diagramas a seguir, pelas imagens 34 e 35.

Figura 34 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje Maciça com vão de 3 metros



(Autoria Própria, 2024)

Figura 35 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Laje Maciça com vão de 3 metros (SINAPI)



(Autoria Própria, 2024)

Pelo estudo, obteve-se um aumento médio de 18,30% da duração das atividades frente ao cenário provável, totalizando-se 113,60 horas. Enquanto para o cenário otimista, obteve-se 86,40 horas, caracterizando-se uma redução de 10,00% em relação ao cenário provável, como ilustra a tabela 21.

Tabela 21 – Cenários pessimista e otimista de Laje Maciça com vão de 3 metros (obtido por questionário)

Questionário					
Laje Maciça	Vão (m)	3	Área (m²)	189	Cenário (h)
Tarefa			Operários	Pessimista (+18,30%)	Otimista (-10,00%)
MONTAGEM DA LAJE			5	63,11	48,00
MONTAGEM DA ARMADURA			4	37,87	28,80
CONCRETAGEM			4	12,62	9,60
TOTAL				113,60	86,40

(Autoria Própria, 2024)

4.1.2 Laje *Steel Deck*

O processo construtivo da Laje *Steel Deck*, abrangeu, assim com a laje maciça, 3 etapas, montagem, armação e concretagem. Pelo questionário foram considerados pelos entrevistados, em média, por tarefa, 6, 5 e 4 trabalhadores, respectivamente.

Assim sendo, para os dados advindos da tabela SINAPI, os trabalhadores foram alocados igualmente em cada etapa, conforme suas funções da composição fornecida, a fim de se obter uma melhor comparação, bem como realizado na laje anterior. Como realizado anteriormente, o processo será separado pelos vãos estudados.

4.1.2.1 Laje *Steel deck* para vão de 5 metros

Para o vão de 5 metros, temos as durações totais referente ao questionário (cenário provável) e base de dados da SINAPI compiladas nas tabelas 22 e 23 respectivamente.

Tabela 22 - Duração Laje *Steel Deck* com vão de 5 metros (obtido por questionário)

Questionário					
Laje <i>Steel Deck</i>	Vão (m)	5	Área (m ²)	200	Cenário (h)
Tarefa			Operários	Provável	
MONTAGEM DA LAJE			6	32	
MONTAGEM DA ARMADURA			5	38	
CONCRETAGEM			4	26	
TOTAL				96,00	

(Autoria Própria, 2024)

Tabela 23 - Duração Laje *Steel Deck* com vão de 5 metros (SINAPI)

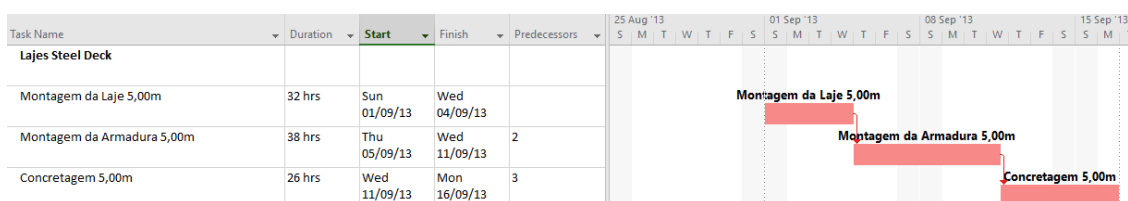
SINAPI						
Laje <i>Steel Deck</i>	Vão (m)	5	Área (m ²)	200	Horas Trabalho (h)	Duração Crítica (h)
Tarefa		Operários				
MONTAGEM DA LAJE	Soldador		1	16,60	16,60	
	Ajudante de estruturas metálicas		3	5,53		
	Montador de estruturas metálicas		2	12,50		
MONTAGEM DA ARMADURA	Ajudante de armador		3	0,84	30,58	
	Armador		1	16,20		
	Soldador (conectores)		1	30,58		
CONCRETAGEM	Carpinteiro		1	3,67	11,03	
	Pedreiro		1	3,67		

	Servente	2	11,03	
	TOTAL			58,21

(Autoria Própria, 2024)

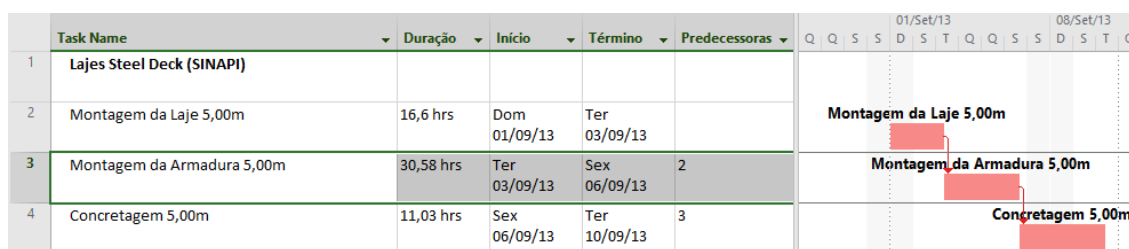
Em relação a laje *Steel Deck*, temos a montagem da armadura e conectores como a tarefa com duração mais crítica, nota-se que para o questionário temos a duração de 34 horas enquanto para SINAPI, temos 30,58 horas. Pelo diagrama de Gantt, conseguimos perceber melhor a diferenciação entre as tarefas, como demonstra as imagens 36 e 37.

Figura 36 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje *Steel Deck* com vão de 5 metros



(Autoria Própria, 2024)

Figura 37 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Laje *Steel Deck* com vão de 5 metros (SINAPI)



(Autoria Própria, 2024)

Nesse sistema construtivo, temos uma diferença percentual entre o questionário e a SINAPI de 64,84%, com 96 horas e 58,21 horas para cada caso, respectivamente. Pelo estudo de caso, obteve-se um acréscimo médio de 11,25% no cenário pessimista, com duração total de 106,80 horas, em relação ao cenário otimista, 81,6 horas com uma redução média de 15,00%, como demonstra a tabela 24.

Tabela 24 – Cenários pessimista e otimista de Laje *Steel Deck* com vão de 5 metros (obtido por questionário)

Laje Steel Deck	Vão (m)	5	Questionário		Cenário (h)	
			Área (m²)	200	Pessimista (+11,25%)	Otimista (-15,00%)
	Tarefa			Operários		
	MONTAGEM DA LAJE			6	35,6	27,2
	MONTAGEM DA ARMADURA			5	42,27	32,3
	CONCRETAGEM			4	28,92	22,1
	TOTAL				106,8	81,6

(Autoria Própria, 2024)

4.1.2.2 Laje *Steel deck* para vão de 4 metros

Para o vão de 4 metros, também foram realizados os cálculos relativos à duração da execução da laje, como demonstra as tabelas 25 e 26.

Tabela 25 - Duração Laje *Steel Deck* com vão de 4 metros (obtido por questionário)

Questionário					
Laje <i>Steel Deck</i>	Vão (m)	4	Área (m ²)	191	Cenário (h)
Tarefa		Operários		Provável	
MONTAGEM DA LAJE		6		28	
MONTAGEM DA ARMADURA		5		38	
CONCRETAGEM		4		18	
TOTAL				84	

(Autoria Própria, 2024)

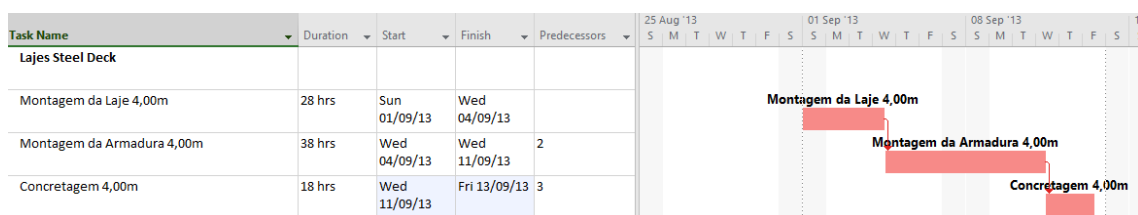
Tabela 26 - Duração Laje *Steel Deck* com vão de 4 metros (SINAPI)

SINAPI						
Laje <i>Steel Deck</i>	Vão (m)	4	Área (m ²)	191	Horas Trabalho (h)	Duração Crítica (h)
Tarefa		Operários				
MONTAGEM DA LAJE	Soldador		1	15,85	15,85	
	Ajudante de estruturas metálicas		3	5,28		
	Montador de estruturas metálicas		2	11,94		
MONTAGEM DA ARMADURA	Ajudante de armador		3	0,80	29,20	
	Armador		1	15,47		
	Soldador (conectores)		1	29,20		
CONCRETAGEM	Carpinteiro		1	3,51	10,53	
	Pedreiro		1	3,51		
	Servente		2	10,53		
TOTAL					55,59	

(Autoria Própria, 2024)

Assim como no vão de 5 metros, a montagem da armadura continua sendo a atividade mais longa, envolvendo 5 trabalhadores. A diferença total nas durações entre o questionário (84 horas) e a SINAPI (55,59 horas) foi de 51,08%. Como demonstra os diagramas de Gantt, pelas figuras 38 e 39.

Figura 38 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje *Steel Deck* com vão de 4 metros



(Autoria Própria, 2024)

Figura 39 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Laje *Steel Deck* com vão de 4 metros (SINAPI)



(Autoria Própria, 2024)

No cenário pessimista, houve um acréscimo de 12,50%, totalizando 134,93 horas. Como ilustra a tabela 27. Enquanto no otimista houve uma redução de 13,75%, com uma duração de 107,56 horas, conforme, tabela 24.

Tabela 27 – Cenários pessimista e otimista de Laje *Steel Deck* com vão de 4 metros (obtido por questionário)

Laje Steel Deck		Questionário		Cenário (h)	
		Vão (m)	Área (m ²)	Pessimista (+12,50%)	Otimista (-13,75%)
Tarefa		4	191		
Operários					
MONTAGEM DA LAJE			6	31,5	24,15
MONTAGEM DA ARMADURA			5	42,75	32,775
CONCRETAGEM			4	20,25	15,525
TOTAL				94,50	72,45

(Autoria Própria, 2024)

4.1.2.3 Laje *Steel deck* para vão de 3 metros

Para o vão de 3 metros, foram deduzidas as seguintes durações, conforme tabelas 28 e 29.

Tabela 28 - Duração Laje *Steel Deck* com vão de 3 metros (obtido por questionário)

Laje Steel Deck		Questionário		Cenário (h)	
		Vão (m)	Área (m ²)	Operários	Provável
Tarefa		3	189		

MONTAGEM DA LAJE	6	32,00
MONTAGEM DA ARMADURA	5	32,00
CONCRETAGEM	4	18,00
TOTAL		82,00

(Autoria Própria, 2024)

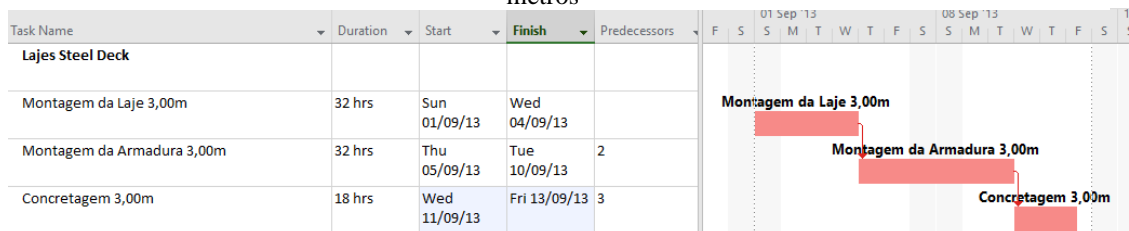
Tabela 29 - Duração Laje *Steel Deck* com vão de 3 metros (SINAPI)

SINAPI						
Laje <i>Steel Deck</i>	Vão (m)	3	Área (m ²)	189	Horas Trabalho (h)	Duração Crítica (h)
Tarefa		Operários				
MONTAGEM DA LAJE	Soldador		1	15,69	15,69	
	Ajudante de estruturas metálicas		3	5,23		
	Montador de estruturas metálicas		2	11,81		
MONTAGEM DA ARMADURA	Ajudante de armador		3	0,79	28,90	
	Armador		1	15,31		
	Soldador (conectores)		1	28,90		
CONCRETAGEM	Carpinteiro		1	3,47	10,42	
	Pedreiro		1	3,47		
	Servente		2	10,42		
TOTAL						55,00

(Autoria Própria, 2024)

A diferença percentual entre os dados do questionário (82,00 horas) e da SINAPI (55,00 horas) foi de 41,72%. Pode-se perceber pelo gráfico de Gantt, as distribuições das tarefas e suas respectivas durações em relação ao total da execução, pelas imagens 40 e 41.

Figura 40 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje *Steel Deck* com vão de 3 metros



(Autoria Própria, 2024)

Figura 41 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Laje *Steel Deck* com vão de 3 metros (SINAPI)



(Autoria Própria, 2024)

No cenário pessimista, houve um aumento de 18,30%, com duração de 113,60 horas, para o cenário otimista, obteve-se a totalidade de 69,70 horas com redução média de 15,00%, bem como representa a tabela 30.

Tabela 30 – Cenários pessimista e otimista de Laje *Steel Deck* com vão de 3 metros (obtido por questionário)

Questionário					
Laje Steel Deck	Vão (m)	3	Área (m ²)	189	Cenário (h)
Tarefa	Operários	Pessimista (+11,25%)	Otimista (-15,00%)		
MONTAGEM DA LAJE	6	35,60	27,20		
MONTAGEM DA ARMADURA	5	35,60	27,20		
CONCRETAGEM	4	20,03	15,30		
TOTAL		91,23	69,70		

(Autoria Própria, 2024)

4.1.3 Laje de Vigotas

O processo construtivo da laje de Vigotas, assim como as anteriores, foi dividido em três fases: montagem, armação e concretagem. De acordo com o questionário, os entrevistados indicaram, em média, a necessidade de 4 trabalhadores para a montagem, 3 para a armação e 4 para a concretagem, em cada tarefa. Da mesma forma, os dados da tabela SINAPI alocaram os trabalhadores em cada etapa com base em suas respectivas funções, mantendo uma composição equilibrada para facilitar a comparação, tal como foi feito na análise da laje anterior.

4.1.3.1 Laje aligeirada para vão de 5 metros

Constam neste ponto as tabelas que descrevem as durações das atividades necessárias para a execução da laje, considerando o número de trabalhadores por tarefa.

Inicialmente, são apresentados os dados do estudo (questionário), seguidos pelas informações da tabela SINAPI, como demonstram as tabelas 31 e 32.

Tabela 31 - Duração Laje de Vigotas com vão de 5 metros (obtido por questionário)

Questionário					
Laje Vigotas	Vão (m)	5	Área (m ²)	200	Cenário (h)
Tarefa			Operários	Provável	
MONTAGEM DA LAJE			4	49,6	
MONTAGEM DA ARMADURA			3	28,8	
CONCRETAGEM			4	6,4	
TOTAL				84,8	

(Autoria Própria, 2024)

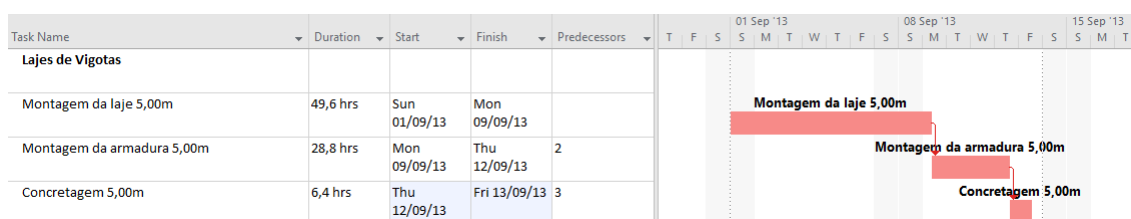
Tabela 32 - Duração Laje de Vigotas com vão de 5 metros (SINAPI)

SINAPI						
Laje Vigotas	Vão (m)	5	Área (m ²)	200	Horas Trabalho (h)	Duração Crítica (h)
Tarefa		Operários				
MONTAGEM DA LAJE	Servente	2	14,90	21,00		
	Carpinteiro	2	21,00			
MONTAGEM DA ARMADURA	Ajudante de armador	2	2,08	25,53		
	Armador	1	25,53			
CONCRETAGEM	Carpinteiro	1	3,00	9,01		
	Pedreiro	1	3,00			
	Servente	2	9,01			
TOTAL				55,54		

(Autoria Própria, 2024)

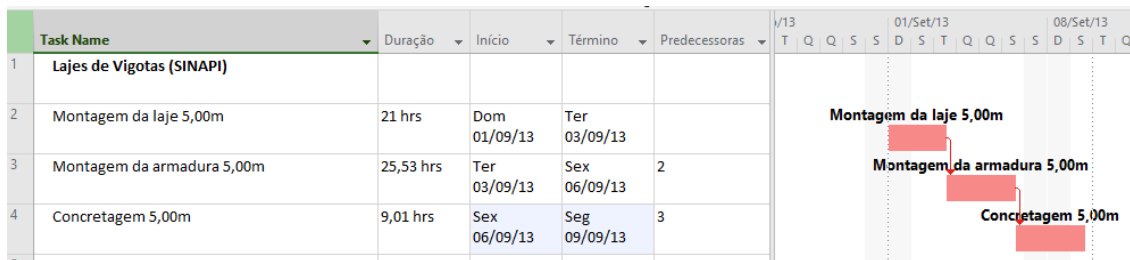
Nesse caso, a montagem da laje é identificada como a etapa com maior criticidade em termos de duração em relação ao questionário, com 49,6 horas, entretanto, com base na tabela SINAPI, a tarefa mais crítica e com maior duração é a montagem de armadura, com 25,53 horas. O gráfico de Gantt revela as atividades mais demorada nos casos em análise, como demonstram as imagens 42 e 43.

Figura 42 – Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje de Vigotas com vão de 5 metros



(Autoria Própria, 2024)

Figura 43 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Laje Steel Deck com vão de 5 metros (SINAPI)



(Autoria Própria, 2024)

A duração total da execução foi de 84,80 horas no questionário e 55,54 horas na tabela SINAPI. A diferença nas durações totais foi de 52,74%. No cenário pessimista, observou-se um aumento médio de 24,0%, totalizando 105,15 horas. Já no cenário otimista, houve uma redução de 11%, resultando em 75,47 horas, como demonstra a tabela 33.

Tabela 33 – Cenários pessimista e otimista de Laje de Vigotas com vão de 5 metros (obtido por questionário)

Questionário					
Laje Vigotas	Vão (m)	5	Área (m ²)	200	Cenário (h)
Tarefa			Operários	Pessimista (+24,00%)	Otimista (-11,00%)
MONTAGEM DA LAJE			4	61,50	44,14
MONTAGEM DA ARMADURA			3	35,71	25,63
CONCRETAGEM			4	7,93	5,696
TOTAL				105,15	75,47

(Autoria Própria, 2024)

4.1.3.2 Laje aligeirada para vão de 4 metros

Para o vão de 4 metros, as durações das atividades da laje também foram calculadas, como demonstra as tabelas 34 e 35 a seguir.

Tabela 34 - Duração Laje de Vigotas com vão de 4 metros (obtido por questionário)

Questionário					
Laje Vigotas	Vão (m)	4	Área (m ²)	191	Cenário (h)
Tarefa			Operários	Provável	
MONTAGEM DA LAJE			4	43,2	
MONTAGEM DA ARMADURA			3	22,4	
CONCRETAGEM			4	6,4	
TOTAL				72	

(Autoria Própria, 2024)

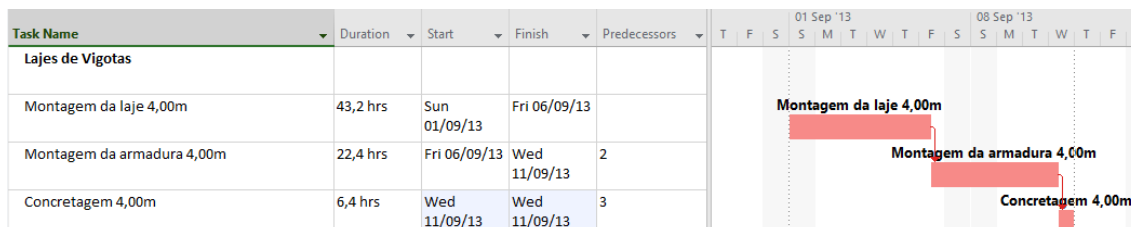
Tabela 35 - Duração Laje de Vigotas com vão de 4 metros (SINAPI)

SINAPI						
Laje Vigotas	Vão (m)	4	Área (m ²)	191	Horas Trabalho (h)	Duração Crítica (h)
Tarefa		Operários				
MONTAGEM DA LAJE	Servente	2	14,23	20,06		
	Carpinteiro	2	20,06			
MONTAGEM DA ARMADURA	Ajudante de armador	2	1,99	24,38		
	Armador	1	24,38			
CONCRETAGEM	Carpinteiro	1	2,87	8,61		
	Pedreiro	1	2,87			
	Servente	2	8,61			
TOTAL						53,04

(Autoria Própria, 2024)

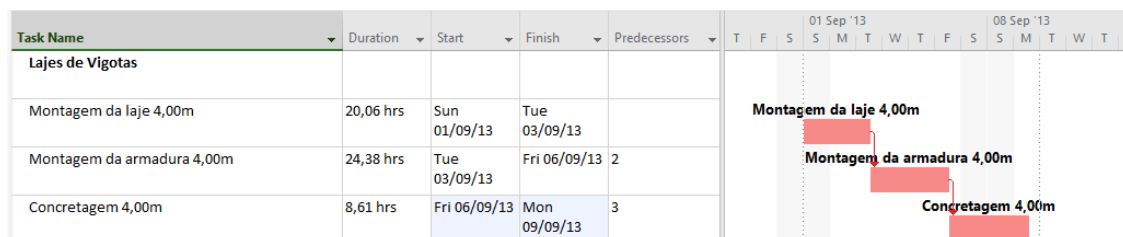
Nota-se novamente que a etapa de montagem da laje foi considerada a mais demorada conforme os dados do questionário, com uma duração total de 43,20 horas. Já segundo a tabela SINAPI, a fase mais prolongada foi a de montagem da armadura, com um tempo estimado de 24,38 horas. O gráfico de Gantt, representado pelas imagens 44 e 45, destaca claramente quais foram as atividades que consumiram mais tempo em ambos os cenários analisados.

Figura 44 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje de Vigotas com vão de 4 metros



(Autoria Própria, 2024)

Figura 45 - Caminho Crítico de Laje de Vigotas com vão de 4 metros (SINAPI)



(Autoria Própria, 2024)

Através do gráfico de Gantt, é possível visualizar a distribuição das tarefas e suas respectivas durações em relação ao tempo total de execução, a variação percentual entre

os dados obtidos no questionário (72,00 horas) e os dados da tabela SINAPI (53,04 horas) foi de 35,75%. Conforme questionário, o cenário pessimista obteve um acréscimo de tempo médio de 24,00%, o qual atingiu-se 89,28 horas de duração total. Para o cenário otimista atingiu-se uma redução média de 13,00%, com 62,64 horas, como demonstra a tabela 36.

Tabela 36 – Cenários pessimista e otimista de Laje de Vigotas com vão de 4 metros (obtido por questionário)

Questionário					
Laje Vigotas	Vão (m)	4	Área (m ²)	191	Cenário (h)
Tarefa		Operários	Pessimista (+24,00%)	Otimista (-13,00%)	
MONTAGEM DA LAJE		4	53,568	37,584	
MONTAGEM DA ARMADURA		3	27,776	19,488	
CONCRETAGEM		4	7,936	5,568	
TOTAL			89,28	62,64	

(Autoria Própria, 2024)

4.1.3.3 Laje aligeirada para vão de 3 metros

Para o vão de 3 metros, também foram calculados os tempos necessários para as atividades da laje, conforme mostrado nas tabelas 37 e 38 a seguir.

Tabela 37 - Duração Laje de Vigotas com vão de 3 metros (obtido por questionário)

Questionário					
Laje Vigotas	Vão (m)	3	Área (m ²)	189	Cenário (h)
Tarefa		Operários	Provável		
MONTAGEM DA LAJE		4	38,4		
MONTAGEM DA ARMADURA		3	22,4		
CONCRETAGEM		4	6,4		
TOTAL			67,2		

(Autoria Própria, 2024)

Tabela 38 - Duração Laje de Vigotas com vão de 3 metros (SINAPI)

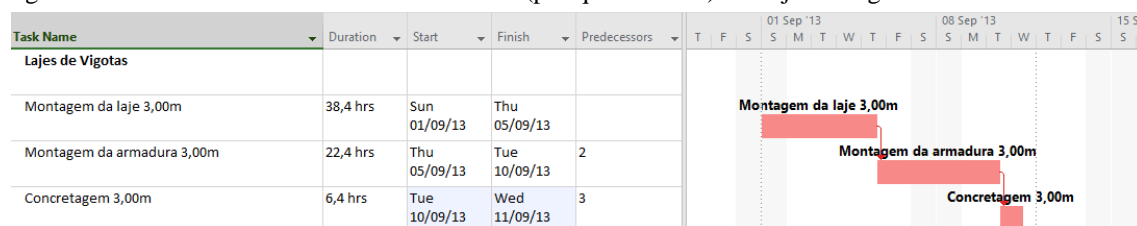
SINAPI					
Laje Vigotas	Vão (m)	3	Área (m ²)	189	
Tarefa		Operários	Horas Trabalho (h)	Duração Crítica (h)	
MONTAGEM DA LAJE	Servente	2	14,08	19,85	
	Carpinteiro	2	19,85		
MONTAGEM DA ARMADURA	Ajudante de armador	2	1,97	24,13	
	Armador	1	24,13		
CONCRETAGEM	Carpinteiro	1	2,84	8,52	
	Pedreiro	1	2,84		

	Servente	2	8,52	
	TOTAL			52,48

(Autoria Própria, 2024)

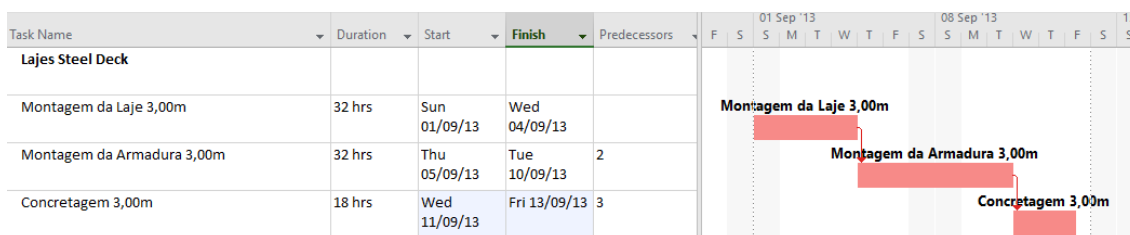
Conforme observado anteriormente, a montagem da laje foi identificada como a fase mais longa segundo o questionário, com uma duração de 38,40 horas. No entanto, de acordo com a SINAPI, a montagem da armadura se destacou como a tarefa mais demorada, com um tempo de 24,13 horas. O gráfico de Gantt, representado pelas imagens 46 e 47, mostra as atividades que consumiram mais tempo em ambos os cenários.

Figura 46 – Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Laje de Vigotas com vão de 3 metros



(Autoria Própria, 2024)

Figura 47 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Laje de Vigotas com vão de 3 metros (SINAPI)



(Autoria Própria, 2024)

O gráfico de Gantt também permite visualizar a distribuição das atividades e suas respectivas durações em relação ao tempo total de execução. A diferença percentual entre os dados do questionário (67,2 horas) e da tabela SINAPI (52,48 horas) foi de 28,05%. No cenário pessimista, de acordo com o questionário, houve um aumento de 25,00% no tempo total, já para o otimista uma redução de 14,00% como ilustrado na tabela 39.

Tabela 39 – Cenários pessimista e otimista de Laje de Vigotas com vão de 3 metros (obtido por questionário)

		Questionário		
Laje Vigotas	Vão (m)	3	Área (m²)	189
Tarefa		Operários	Pessimista (+25,00%)	Otimista (-14,00%)
MONTAGEM DA LAJE		4	48	33,02
MONTAGEM DA ARMADURA		3	28	19,26
CONCRETAGEM		4	8	5,50
TOTAL			84	57,79

(Autoria Própria, 2024)

4.1.4 Laje Alveolar

O processo construtivo da laje alveolar, assim como os outros tipos de laje, também foi dividido em três fases principais: montagem, armação e concretagem. Segundo o questionário, foi indicado que, em média, são necessários 4 trabalhadores para a montagem, 3 para a armação e 3 para a concretagem em cada uma dessas tarefas, que também foram realocados para os cálculos com base na tabela SINAPI.

4.1.4.1 Laje alveolar para vão de 5 metros

A seguir, as tabelas mostram as durações estimadas para cada atividade necessária à execução da laje alveolar, considerando o número de trabalhadores por tarefa. Primeiro são apresentados os dados obtidos pelo estudo (questionário), seguidos das informações da tabela SINAPI, demonstrado pelas tabelas 40 e 41.

Tabela 40 - Duração Lajes Alveolares com vão de 5 metros (obtido por questionário)

Questionário					
Laje Alveolar	Vão (m)	5	Área (m ²)	200	Cenário (h)
Tarefa			Operários	Provável	
MONTAGEM DA LAJE			4	48,00	
MONTAGEM DA ARMADURA			3	17,33	
CONCRETAGEM			3	12,00	
TOTAL				77,33	

(Autoria Própria, 2024)

Tabela 41 - Duração Lajes Alveolares com vão de 5 metros (SINAPI)

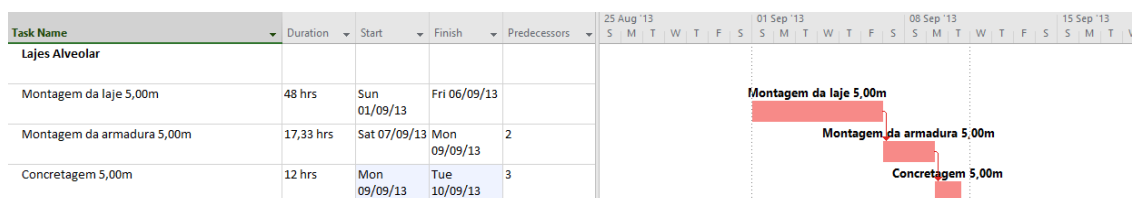
SINAPI						
Laje Alveolar	Vão (m)	5	Área (m ²)	200	Horas Trabalho (h)	Duração Crítica (h)
Tarefa			Operários			
MONTAGEM DA LAJE	Servente		2		2,09	4,18
	Pedreiro		2		4,18	
MONTAGEM DA ARMADURA	Ajudante de armador		2		2,08	25,53
	Armador		1		25,53	
CONCRETAGEM	Carpinteiro		1		2,37	14,26
	Pedreiro		1		2,37	
	Servente		1		14,26	
TOTAL						43,96

(Autoria Própria, 2024)

Neste caso, a montagem da laje foi identificada como a etapa de maior duração no questionário, com um tempo de 77,33 horas. Entretanto, segundo os dados da tabela

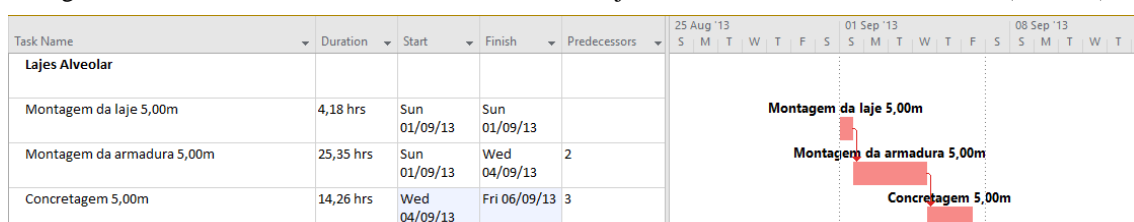
SINAPI, a tarefa mais crítica foi a montagem da armadura, com uma duração de 25,53 horas. O gráfico de Gantt ilustra as atividades mais demoradas em cada cenário, como mostrado nas imagens 48 e 49.

Figura 48 -Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Lajes Alveolares com vão de 5 metros



(Autoria Própria, 2024)

Figura 49 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Lajes Alveolares com vão de 5 metros (SINAPI)



(Autoria Própria, 2024)

A diferença percentual nas durações totais foi de 75,82%. No cenário pessimista, houve um aumento médio de 20%, chegando a 92,8 horas. No cenário otimista, verificou-se uma redução de 15%, totalizando 65,73 horas, conforme mostrado na tabela 42.

Tabela 42 – Cenários Lajes Alveolares com vão de 5 metros (obtido por questionário)

		Questionário		
Laje Alveolar	Vão (m)	5	Área (m ²)	200
Tarefa		Operários		Cenário (h)
				Pessimista (+20,00%)
				Otimista (-15,00%)
MONTAGEM DA LAJE		4		57,6
MONTAGEM DA ARMADURA		3		20,8
CONCRETAGEM		3		14,4
TOTAL				92,8
				65,73

(Autoria Própria, 2024)

4.1.4.2 Laje alveolar para vão de 4 metros

Para o vão de 4 metros, as durações das atividades da laje alveolar também foram calculadas, conforme demonstrado nas tabelas 43 e 44 a seguir.

Tabela 43 - Duração Lajes Alveolares com vão de 4 metros

		Questionário		
Laje Alveolar	Vão (m)	4	Área (m ²)	191
		Cenário (h)		

Tarefa	Operários	Provável
MONTAGEM DA LAJE	4	42,67
MONTAGEM DA ARMADURA	3	17,33
CONCRETAGEM	3	12,00
TOTAL		72,00

(Autoria Própria, 2024)

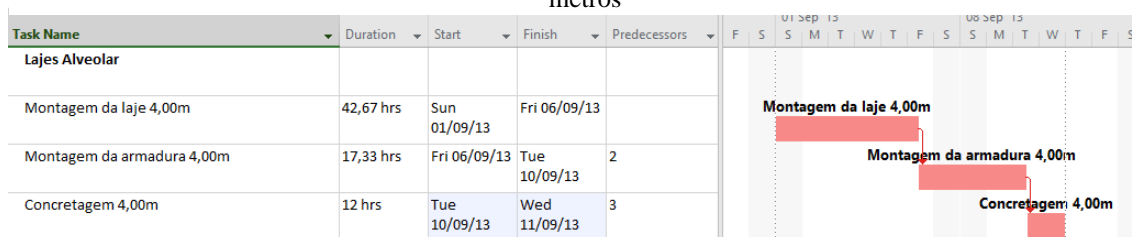
Tabela 44 - Duração Lajes Alveolares com vão de 4 metros (SINAPI)

SINAPI						
Laje Alveolar	Vão (m)	4	Área (m ²)	191	Horas Trabalho (h)	Duração Crítica (h)
Tarefa	Operários					
MONTAGEM DA LAJE	Servente	2	1,99	3,99		
	Pedreiro	2	3,99			
MONTAGEM DA ARMADURA	Ajudante de armador	2	1,99	24,38		
	Armador	1	24,38			
CONCRETAGEM	Carpinteiro	1	2,27	13,62		
	Pedreiro	1	2,27			
	Servente	1	13,62			
	TOTAL					41,98

(Autoria Própria, 2024)

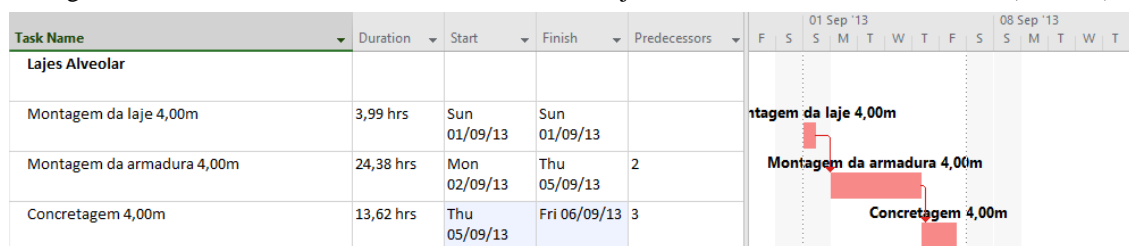
A montagem da laje foi novamente a fase mais longa com base pelo questionário, com uma duração de 42,67 horas. No entanto, segundo a SINAPI, a montagem da armadura se destacou como a tarefa mais demorada, com 24,38 horas. O gráfico de Gantt detalha as atividades que consumiram mais tempo em ambos os casos.

Figura 50 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Lajes Alveolares com vão de 5 metros



(Autoria Própria, 2024)

Figura 51 - Gráfico Gantt com Caminho Crítico de Lajes Alveolares com vão de 5 metros (SINAPI)



(Autoria Própria, 2024)

A diferença percentual entre os dados do questionário (72 horas) e da tabela SINAPI (41,98 horas) foi de 71,43%. No cenário pessimista, houve um aumento de 20%, chegando a 86,40 horas, enquanto o cenário otimista teve uma redução de 15%, totalizando 61,20 horas, como demonstra a tabela 45.

Tabela 45 – Cenários pessimista e otimista de Lajes Alveolares com vão de 4 metros

Laje Alveolar		Vão (m)	4	Questionário		Cenário (h)	
				Área (m ²)	191	Pessimista (+20,00%)	Otimista (-15,00%)
Tarefa			Operários				
MONTAGEM DA LAJE			4		51,2		36,27
MONTAGEM DA ARMADURA			3		20,8		14,73
CONCRETAGEM			3		14,4		10,20
TOTAL					86,4		61,20

(Autoria Própria, 2024)

4.1.4.3 Laje alveolar para vão de 3 metros

As durações das atividades da laje alveolar para o vão de 3 metros também foram calculadas, conforme presente nas tabelas 43 e 44.

Tabela 46 - Duração Lajes Alveolares com vão de 3 metros (obtido por questionário)

Laje Alveolar		Vão (m)	3	Questionário		Cenário (horas)
				Área (m ²)	189	Provável
Tarefa			Operários			
MONTAGEM DA LAJE			4			34,67
MONTAGEM DA ARMADURA			3			22,67
CONCRETAGEM			3			12,00
TOTAL						69,33

(Autoria Própria, 2024)

Tabela 47 - Duração Lajes Alveolares com vão de 3 metros (SINAPI)

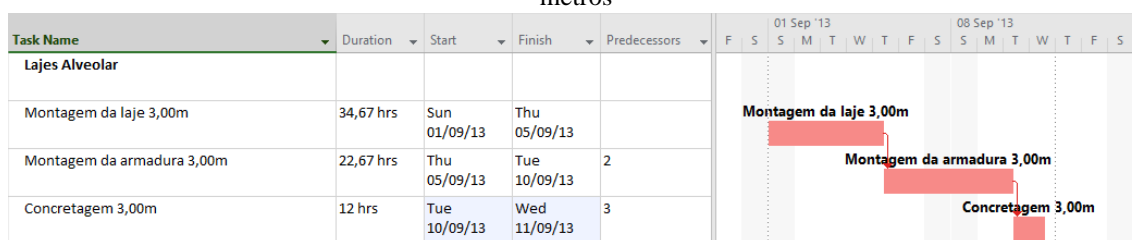
SINAPI						
Laje Alveolar	Vão (m)	3	Área (m ²)	189	Horas Trabalho (h)	Duração Crítica (h)
Tarefa			Operários			
MONTAGEM DA LAJE	Servente		2		1,97	3,95
	Pedreiro		2		3,95	
MONTAGEM DA ARMADURA	Ajudante de armador		2		1,97	24,13
	Armador		1		24,13	
CONCRETAGEM	Carpinteiro		1		2,24	13,47

	Pedreiro	1	2,24	
	Servente	1	13,47	
	TOTAL			41,55

(Autoria Própria, 2024)

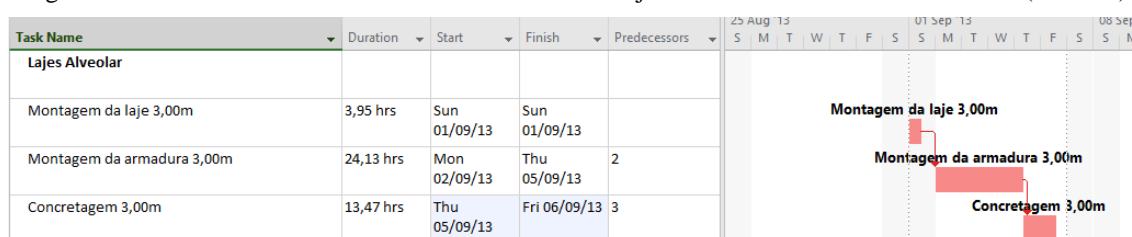
Para o vão de 3 metros, a montagem da laje também foi identificada como a fase mais longa, com 34,67 horas de duração. Ao mesmo passo que, segundo a SINAPI, a montagem da armadura foi a atividade que mais consumiu tempo, com 24,13 horas. O gráfico de Gantt mostra a distribuição das tarefas e suas respectivas durações.

Figura 52 - Gráfico de Gantt com Caminho Crítico (por questionário) de Lajes Alveolares com vão de 3 metros



(Autoria Própria, 2024)

Figura 53 – Gráfico de Gantt com Caminho Crítico de Lajes Alveolares com vão de 3 metros (SINAPI)



(Autoria Própria, 2024)

A diferença percentual entre os dados do questionário (69,33 horas) e os da SINAPI (41,55 horas) foi de 67,05%. No cenário pessimista, houve um aumento de 20,00%, com a duração total chegando a 84,35 horas, enquanto no cenário otimista houve uma redução de 15,00%, totalizando 58,93 horas, demonstrado na tabela 48.

Tabela 48 – Cenários pessimista e otimista de Lajes Alveolares com vão de 3 metros (obtido por questionário)

Questionário					
Laje Alveolar	Vão (m)	3	Área (m ²)	189	Cenário (horas)
Tarefa			Operários	Pessimista (+20,00%)	Otimista (-15,00%)
MONTAGEM DA LAJE			4	42,17	29,46
MONTAGEM DA ARMADURA			3	27,57	19,26
CONCRETAGEM			3	14,60	10,20
TOTAL				84,35	58,93

(Autoria Própria, 2024)

4.2 Análise Comparativa

Através da compilação de dados, podemos observar como cada sistema se comporta em termos de tempo de execução, número de operadores e área a ser coberta, o que permite uma análise detalhada da adequação de cada tipo de laje para diferentes situações de obra. O resumo detalhado das lajes e vãos relativamente as durações totais são representadas pelas tabelas 49, 50 e 51, em horas.

Tabela 49 - Duração Global - Provável (Questionário)

Questionário (Cenário Provável)		Lajes (horas)			
Vão (m)	Área (m ²)	Maciças	Steel Deck	Vigotas	Alveolares
5	200	120	96	84,8	77,36
4	191	106,64	84	72	72
3	189	96	82	67,2	69,36

(Autoria Própria, 2024)

Tabela 50 - Duração Global – Estimada (PERT)

PERT (Duração Esperada)		Lajes (horas)			
Vão (m)	Área (m ²)	Maciças	Steel Deck	Vigotas	Alveolares
5	200	121,44	95,44	86,64	78
4	191	107,84	83,84	73,36	72,64
3	189	97,36	77,52	68,4	70,08

(Autoria Própria, 2024)

Tabela 51 - Duração Global (SINAPI)

SINAPI		Lajes (horas)			
Vão (m)	Área (m ²)	Maciças	Steel Deck	Vigotas	Alveolares
5	200	110,72	58,24	55,52	44
4	191	105,92	55,6	53,04	42
3	189	96,96	55,04	52,48	41,52

(Autoria Própria, 2024)

4.2.1 Comparativo entre durações totais entre os sistemas construtivos

As lajes maciças, embora robustas, apresentaram o maior tempo de execução, sendo mais adequadas para projetos onde a durabilidade estrutural é prioritária. Assim sendo se mostraram com uma variação muito pequena entre os tempos práticos (questionário) e teóricos (SINAPI), sendo o sistema mais previsível.

Nos três vãos analisados (5, 4 e 3 metros), a diferença foi inferior a 1,2 dias, o que indica uma relativa estabilidade entre a teoria e a prática. Esse sistema, portanto, é o mais estável em termos de previsão de tempo.

O *Steel Deck*, enquanto teoricamente rápido, assume-se que na prática enfrenta imprevistos, que afeta a execução e consequentemente o tempo de obra. Apresentou grandes discrepâncias com os tempos práticos, especialmente em vãos maiores. Essa diferença foi mais acentuada no vão de 5 metros, com o questionário indicando uma execução 4,72 dias mais demorada do que o previsto.

Dessa maneira, nota-se que o *Steel Deck* enfrenta desafios que podem não ser plenamente contemplados pelas estimativas teóricas, como a montagem de conectores e ajustes nas estruturas metálicas.

As lajes de vigotas também apresentaram diferenças, embora moderadas, entre os tempos práticos e teóricos. Esse sistema, que utiliza elementos pré-fabricados, demonstrou ser mais eficiente do que as lajes maciças em termos de tempo de execução. No entanto, o questionário indicou que, na prática, os tempos são ligeiramente superiores aos da SINAPI.

A diferença foi mais pronunciada nos vãos maiores, com uma variação de até 3,66 dias no vão de 5 metros. Isso sugere que a logística de instalação das vigotas pode gerar atrasos no cronograma, mas de forma menos impactante em comparação com o *Steel Deck*.

Já as lajes alveolares se destacam como o sistema mais eficiente em termos de rapidez, tiveram as maiores diferenças percentuais, com os tempos práticos quase sempre sendo mais de 60% superiores aos tempos teóricos. No vão de 5 metros, por exemplo, o questionário indicou uma execução 4,17 dias mais demorada do que a prevista pela SINAPI.

Embora esse sistema seja bastante eficiente, o aumento do tempo na prática pode ser explicado pela necessidade de maior precisão na montagem, bem como cuidados adicionais no manuseio dos elementos alveolares.

4.2.2 Produtividade

Nesta análise, foram comparados os resultados de RUP (h/m^2) entre os dados coletados no estudo de caso e os fornecidos pela tabela SINAPI, considerando os quatro tipos de lajes: maciças, *Steel Deck*, vigotas e alveolares, com diferentes vãos (5 m, 4 m e 3 m).

Ressalta-se que, conforme metodologia oficial do SINAPI, os coeficientes de produtividade divulgados nas composições são baseados na RUP acumulada (RUPcum), a qual representa a média de produção observada ao longo do tempo de execução do serviço em campo. Dessa forma, os dados do SINAPI expressam um valor médio realista, já incorporando variações operacionais típicas das obras.

Conforme tabelas 52, 53 e 54 temos as horas trabalhadas totais (horas de trabalho x nº de operadores), essas tabelas serviram de base para os cálculos da produtividade para cada tipo construtivo conforme vão analisado.

Tabela 52 - Horas trabalho (Questionário)

Questionário Cenário Provável		Horas trabalho (horas)			
Vão (m)	Área (m ²)	Maciças	Steel Deck	Vigotas	Alveolares
5	200	541,08	486,00	310,40	279,99
4	191	482,64	430,00	265,60	258,67
3	189	437,33	424,00	246,40	242,69

(Autoria Própria, 2024)

Tabela 53 - Horas trabalho (PERT)

PERT		Horas trabalho (horas)			
Vão (m)	Área (m ²)	Maciças	Steel Deck	Vigotas	Alveolares
5	200	547,74	482,96	317,11	282,32
4	191	488,00	429,10	270,47	260,82
3	189	443,40	421,35	250,91	245,36

(Autoria Própria, 2024)

Tabela 54 - Horas trabalho (SINAPI)

SINAPI		Horas trabalho (horas)			
Vão (m)	Área (m ²)	Maciças	Steel Deck	Vigotas	Alveolares
5	200	265,74	136,89	125,51	61,23
4	191	253,99	130,72	119,90	58,48
3	189	233,06	129,36	118,65	57,86

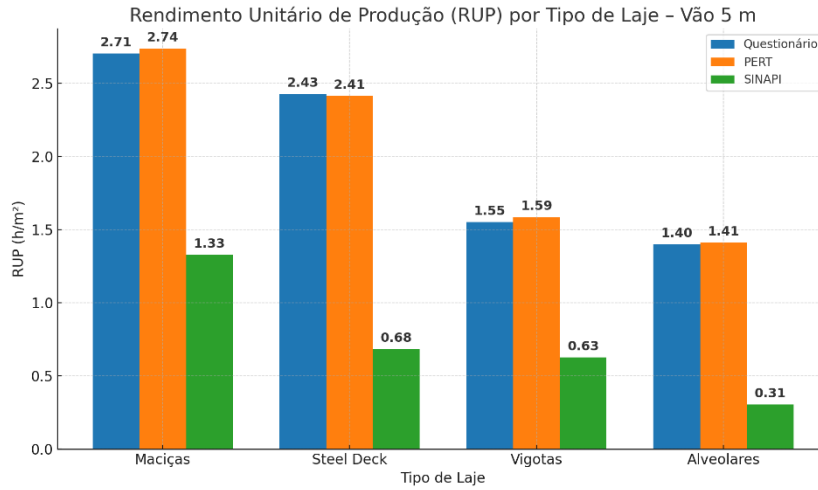
(Autoria Própria, 2024)

Rendimento Unitário de Produção (RUP)

Apresenta-se agora o estudo do Razão Unitário de Produção (RUP), expresso em horas por metro quadrado (h/m²). Este indicador representa o esforço necessário da mão de obra para executar uma unidade de área e é amplamente utilizado em composições orçamentárias, como no sistema SINAPI.

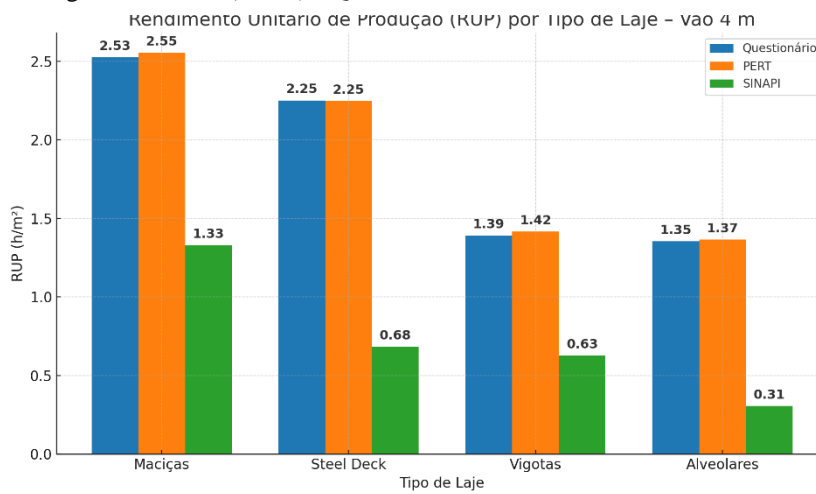
Assim, a seguir apresentam-se os valores de RUP calculados com base nas mesmas abordagens anteriores, como demonstra as figuras 57, 58 e 59.

Figura 54 -RUP (h/ m2) - Questionário x PERT x SINAPI – Vão de 5 metros



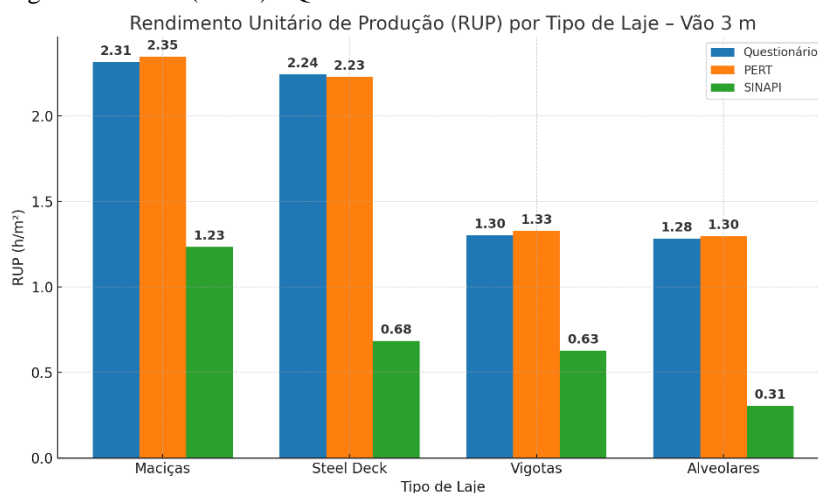
(Autoria Própria, 2024)

Figura 55 - RUP (h/ m2) - Questionário x PERT x SINAPI – Vão de 4 metros



(Autoria Própria, 2024)

Figura 56 - RUP (h/ m2) - Questionário x PERT x SINAPI – Vão de 3 metros



(Autoria Própria, 2024)

Como já definido na bibliografia, o RUP representa a quantidade de horas de trabalho necessárias para executar um metro quadrado de laje, sendo, portanto, um indicador direto do consumo de mão de obra.

Na prática, quanto maior o valor da RUP, maior o tempo necessário para concluir o serviço, o que indica menor produtividade da equipe. Por outro lado, valores mais baixos de RUP sinalizam maior eficiência na execução. Neste estudo, o RUP foi adotado como métrica principal para análise comparativa entre os sistemas de lajes e os diferentes cenários avaliados.

Nesse contexto, os sistemas industrializados, como as lajes alveolares e as lajes de vigotas, apresentaram os menores valores de RUP em todos os vãos analisados, independentemente do método de estimativa. Assim sendo, mostra-se que menos horas são necessárias para executar a mesma área, o que evidencia sua eficiência executiva.

Em contrapartida, a laje maciça apresenta os maiores RUPs em todos os métodos e vãos avaliados, indicando um maior esforço de mão de obra por metro quadrado executado. Tal comportamento reflete obviamente uma maior complexidade construtiva, envolvendo montagem de formas, armação manual, escoramento e concretagem in loco, isso pois, essas etapas que aumentam significativamente o tempo necessário por unidade de área.

Em relação aos métodos de estimativa, observou-se que a SINAPI apresentou sistematicamente os menores valores de RUP. Nota-se que isso pode ser atribuído à

adoção de condições ideais de execução em suas composições, desconsiderando fatores de variabilidade e ineficiência típicos de canteiros reais, como clima, equipe reduzida, interferências de obra, entre outros.

Por outro lado, os valores obtidos via questionário e ajustados com o método PERT se mostram mais próximos entre si, o que demonstra que as estimativas fornecidas pelos profissionais refletem melhor a realidade prática. Além disso, essa coerência reforça a confiabilidade do modelo probabilístico adotado, uma vez que o PERT incorpora as incertezas do processo e ainda assim se mantém alinhado com a percepção empírica dos profissionais.

4.2.3 Comparativo em termos de análise de riscos com a SMC

Para demonstrar o processo adotado na análise dos riscos associados ao prazo de execução dos diferentes tipos lajes analisados, optou-se por utilizar a distribuição triangular nas simulações realizadas com o software @RISK. Essa escolha se deve à simplicidade da modelação e à facilidade de interpretação dos resultados, uma vez que a distribuição triangular é amplamente utilizada quando se tem um conjunto limitado de dados, mas com estimativas confiáveis.

Para cada tipo de laje e vão, foram definidos três parâmetros de entrada para a simulação:

- Valor mínimo (otimista)
- Valor mais provável (central)
- Valor máximo (pessimista)

Esses valores foram extraídos com base nas estimativas de durações informadas resultados do questionário aplicado a profissionais da área. Com isso, foi possível construir curvas de simulação que representam o comportamento estatístico da duração da execução para cada sistema construtivo.

A análise dos resultados se deu por meio da geração de histogramas, nos quais é possível observar a distribuição das durações simuladas. Em cada gráfico, foi fixado um valor de referência (chamado data-alvo) para calcular a probabilidade de sucesso — ou seja, a porcentagem de simulações que resultaram em prazos menores ou iguais àquela duração específica.

Três datas-alvo foram utilizadas nas análises, dentro dos parâmetros originados dos cenários otimistas e pessimistas:

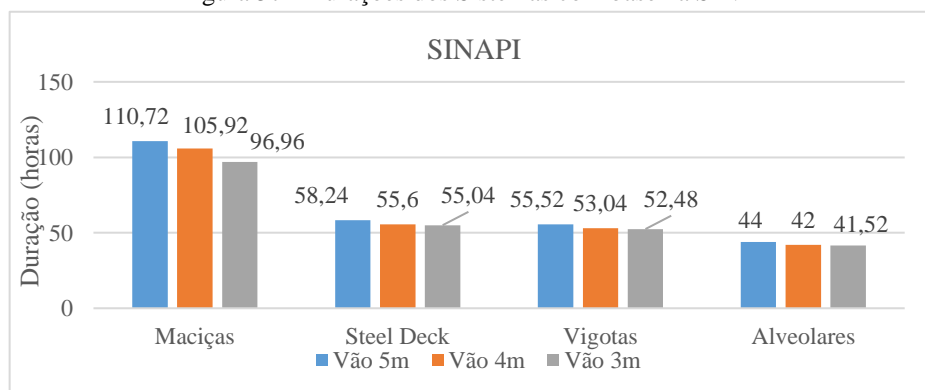
- A duração da SINAPI (valor normativo);
- A duração esperada, calculada com base no PERT,
- A duração provável, conforme definida pelos profissionais no questionário.

Dessa maneira, a comparação foi realizada entre os resultados obtidos com SINAPI e durações pelo PERT, e com SINAPI e durações frequentes obtidas pelos questionários.

4.2.3.1 Geração de Histogramas – Aplicação para a Laje Maciça

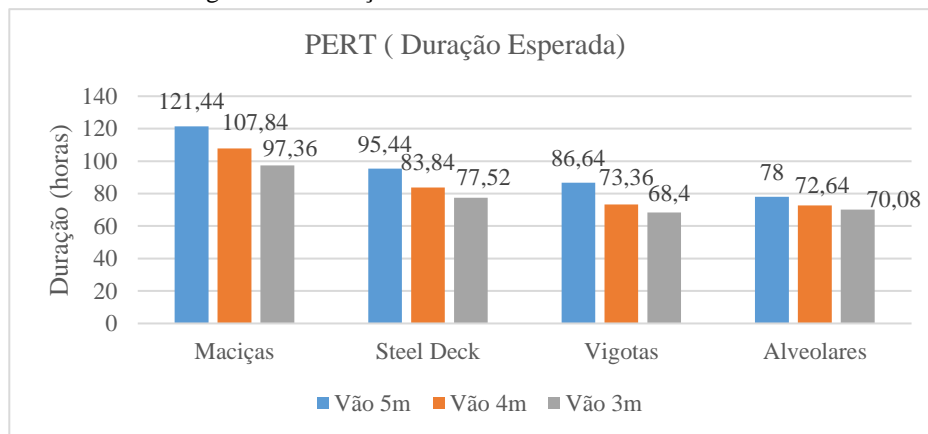
A fim de realizar uma demonstração do processo realizado para a obtenção dos resultados, optou-se pela laje maciça para a apresentação dos histogramas, prevalecendo posteriormente os valores obtidos para as restantes lajes e vãos. A priori, é demonstrado novamente as durações dos cenários obtidos, nas figuras 57, 58 e 59.

Figura 57 - Durações dos Sistemas com base na SINAPI



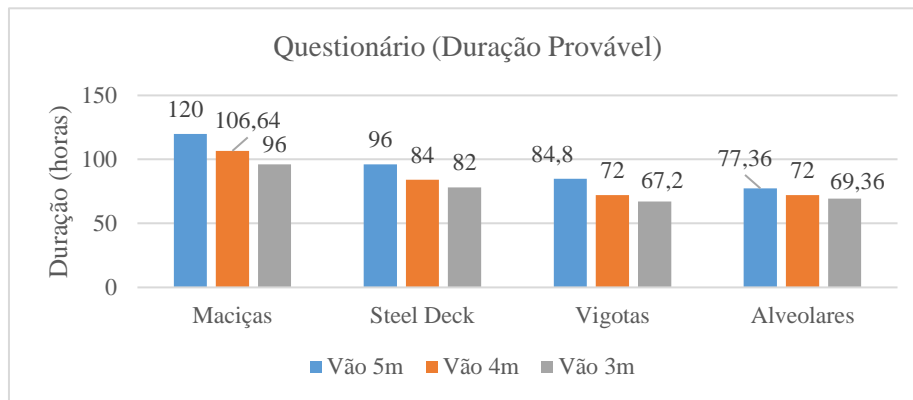
(Autoria Própria, 2024)

Figura 58 - Durações dos Sistemas com base no PERT



(Autoria Própria, 2024)

Figura 59 -Durações dos Sistemas com base no Questionário



(Autoria Própria, 2024)

O histograma gerado pela Simulação de Monte Carlo mostra quantas vezes cada duração apareceu entre as 4.000 simulações feitas para a execução da laje.

No gráfico, o eixo X representa o tempo total da execução (em horas) e o eixo Y indica quantas simulações chegaram naquele tempo. Ou seja, ele mostra quais prazos foram mais comuns e quais são menos prováveis.

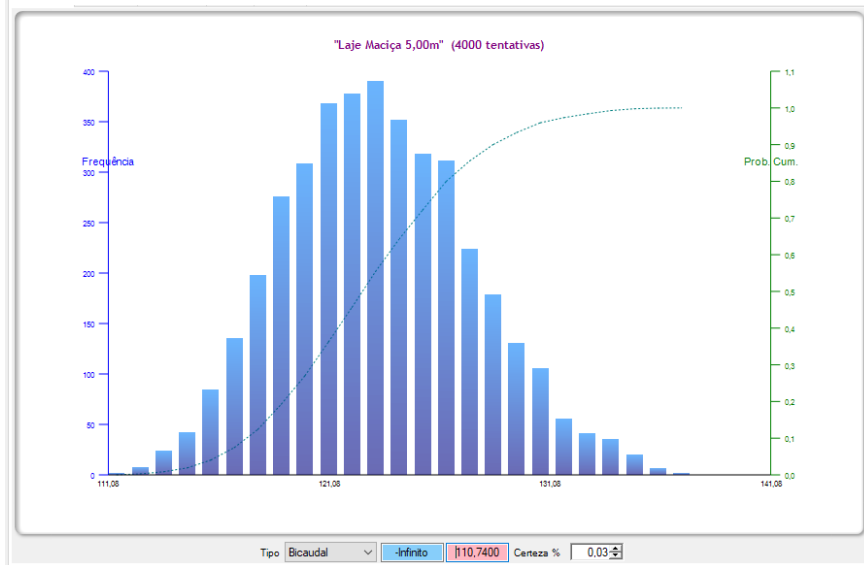
Com base nesse gráfico, foi fixado um valor de referência (chamado de duração-alvo) que pode ser, por exemplo, o valor da SINAPI, o da duração esperada ou o da estimativa provável do questionário, como já dito.

O @RISK calcula a probabilidade de sucesso como sendo a porcentagem de simulações em que a laje terminou antes ou exatamente nesse valor de referência. Assim, se a linha da duração-alvo estiver no meio do gráfico, significa que cerca de 50% das simulações terminaram antes dela.

a) Laje maciça 5 metros

Em relação a esse vão, o eixo X, que representa o tempo total (em horas), variou-se entre os valores mínimo e máximo simulados de 111,08 a 141 horas, ou seja, esses valores, são os valores pessimista e otimista, conforme estipulado pelos dados obtidos dos entrevistados (questionário). Verifica-se o intervalo de certeza para o término da execução, considerando a tabela SINAPI pelo histograma a seguir, conforme a figura 60.

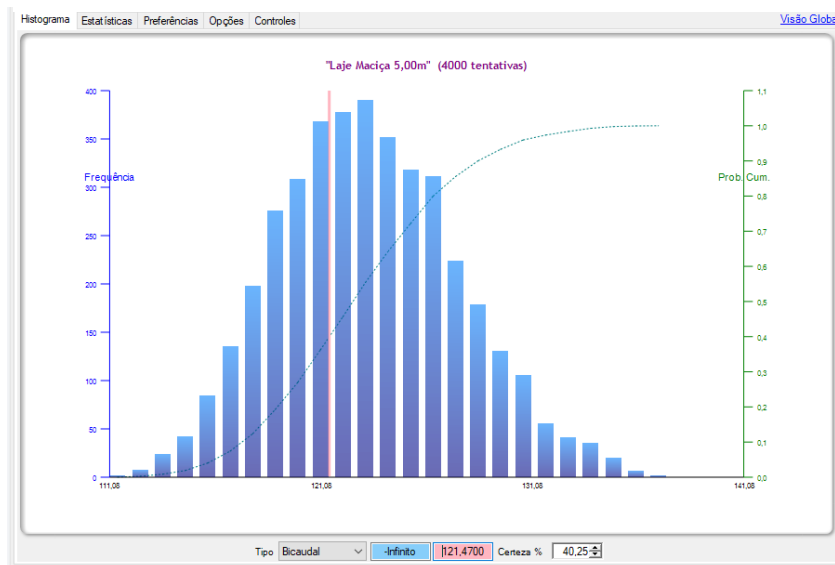
Figura 60 - Histograma para vão de 5 metros (SINAPI)



(Autoria Própria, 2024)

A probabilidade de a execução ter sucesso em 110,74 horas ou menos é de 0,03% (por isso não se aparece nenhuma linha de duração-alvo), considerando-se essa duração, existe um risco de atraso de 100%. Na figura 61, é apresentado o histograma de duração provável, conforme o questionário realizado.

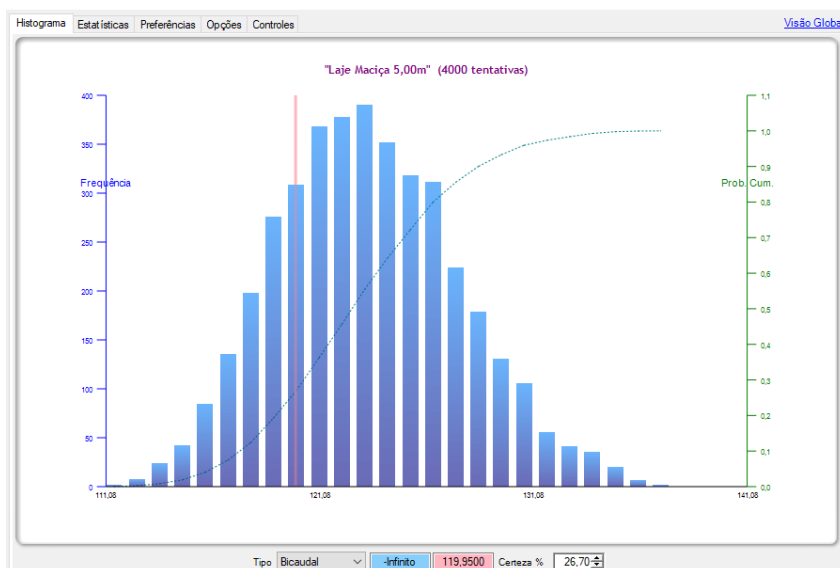
Figura 61 – Histograma para vão de 5 metros (Questionário)



(Autoria Própria, 2024)

Para essa duração, o histograma revela uma porcentagem da duração terminar em 121,47 horas é de 40,25%, isto é, 59,75% de probabilidade de atraso. Complementando a análise, apresenta-se a seguir o histograma com a probabilidade de sucesso considerando a duração estimada, pelo PERT, de 119,5 horas, conforme a figura 62.

Figura 62 - Histograma para vão de 5 metros (PERT)



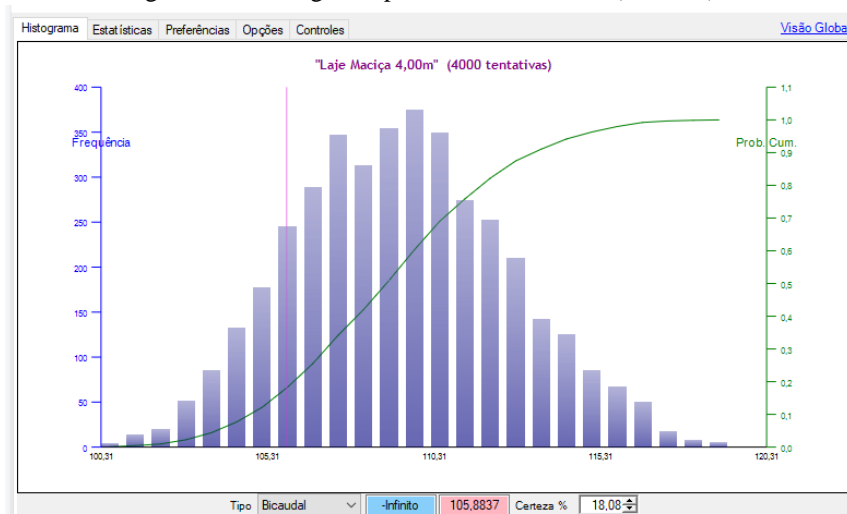
(Autoria Própria, 2024)

Observa-se que a probabilidade de sucesso (isto é, de concluir a execução em 119,5 horas ou menos) é de 26,70%, indicando que existe um risco de atraso de 73,30% mesmo adotando a estimativa mais provável relatada no campo.

b) Laje maciça 4 metros

Em relação ao vão de 4 metros, a duração mais curta estimada foi de 100,31 horas (otimista) e a mais alta de 120,30 horas (pessimista). Desse modo, foram empregues a duração alvo de acordo com as tabelas SINAPI, como indica a figura 63.

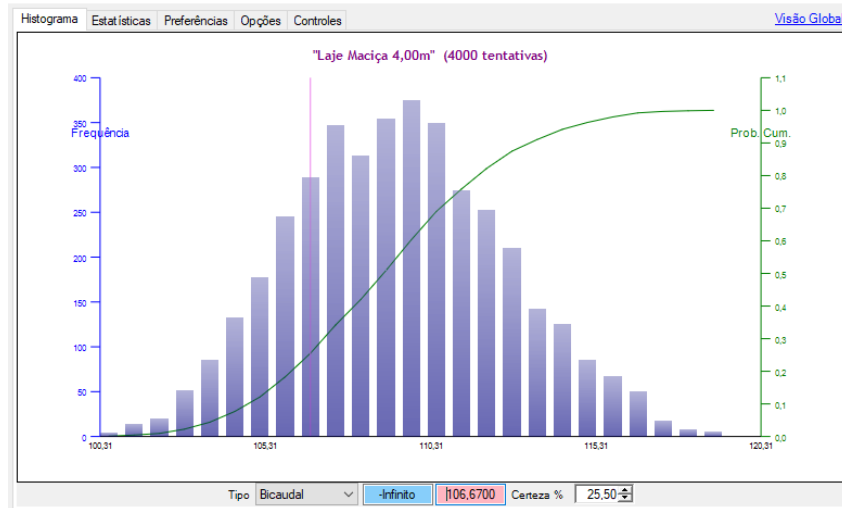
Figura 63 – Histograma para vão de 4 metros (SINAPI)



(Autoria Própria, 2024)

Nota-se que para a duração estimada baseado nos bancos de dados a probabilidade de que o projeto termine em 105,88 horas ou antes, é de 18,08%. Para o tempo de duração provável, baseado no questionário, de 106,67 horas, temos o a figura 64 abaixo.

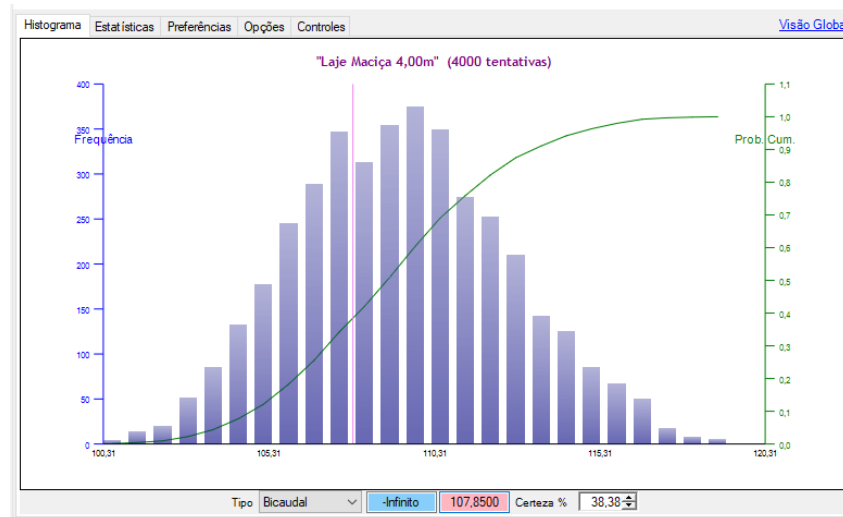
Figura 64- Histograma para vão de 4 metros (Questionário)



(Autoria Própria, 2024)

Observa-se que para essa duração, a probabilidade de a execução finalizar com 107,85 horas ou menos é de 25,50%. Diante disso, considerando como referência a duração estimada, baseada no PERT, de 107,85 horas, temos a geração do histograma demonstrado na figura 65.

Figura 65- Histograma para vão de 4 metros (PERT)



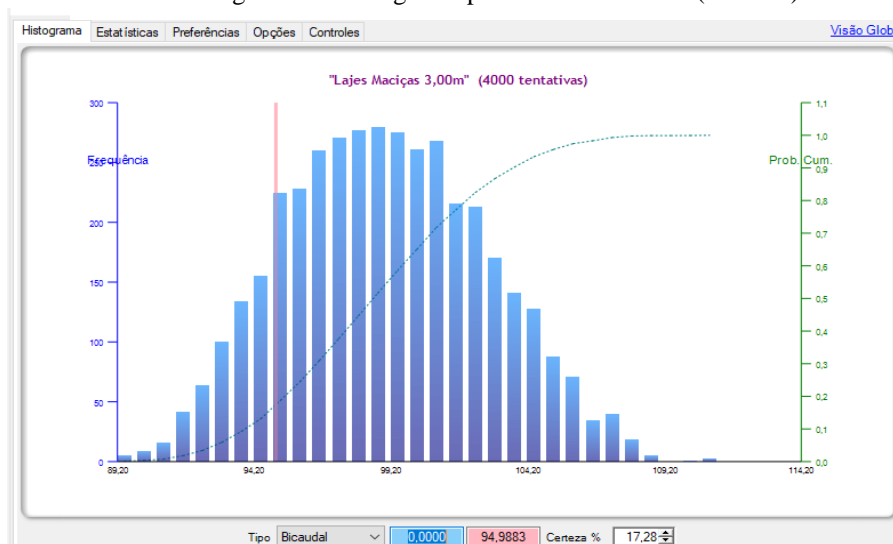
(Autoria Própria, 2024)

Conforme o histograma, a probabilidade de sucesso da execução dentro desse prazo é de 38,38%, o que implica um risco de atraso de 61,62%.

c) Laje maciça 3 metros

Executada a simulação para o vão de 3 metros, é possível visualizar que a distribuição varia entre 89,20 e 114,20 horas. Conforme a data estimada de duração realizada a partir da SINAPI, temos 94,98 horas, conforme figura 66.

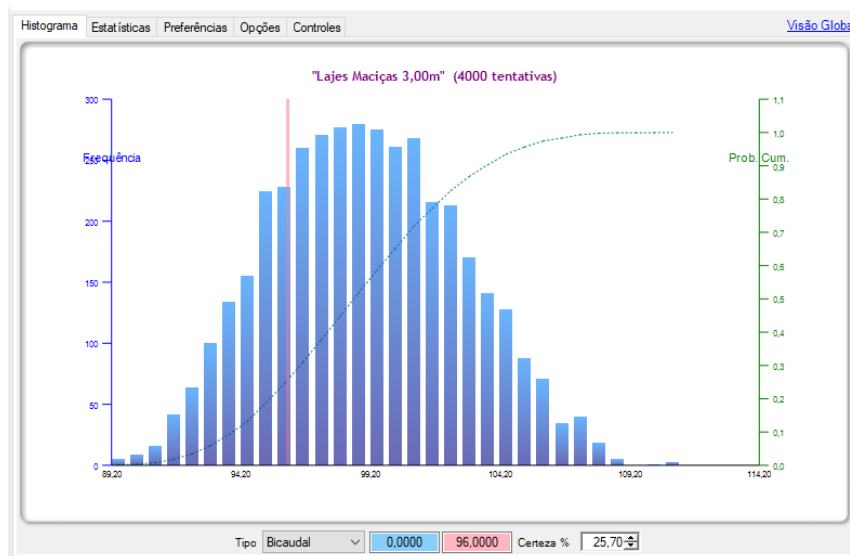
Figura 66 - Histograma para vão de 3 metros (SINAPI)



(Autoria Própria, 2024)

Nota-se nesse caso, 17,28% de probabilidade de ocorrência com essa duração, já para a data provável, conforme figura 67, tem-se 25,70% de probabilidade de sucesso na execução, com 96 horas.

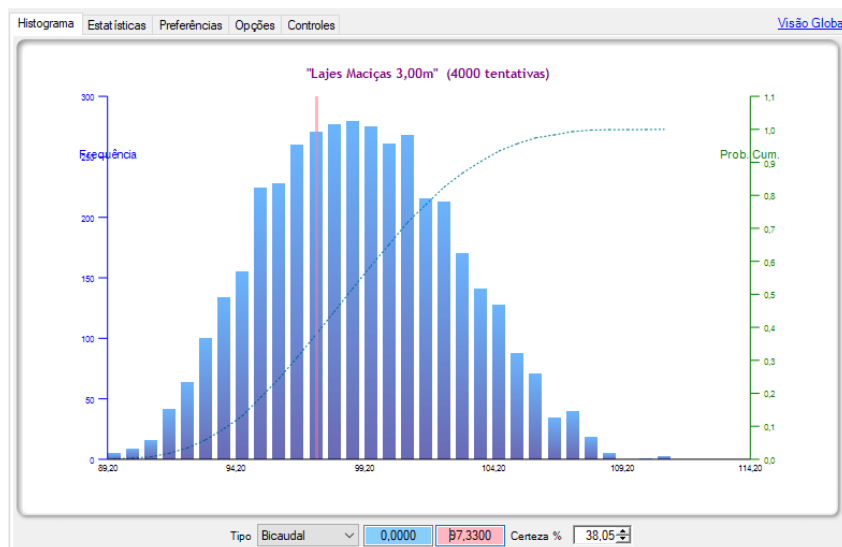
Figura 67 – Histograma para vão de 3 metros (Questionário)



(Autoria Própria, 2024)

Por fim, temos o histograma considerando como parâmetro a duração estimada, pelo PERT, de 97,33 horas. Como demonstra a figura 68.

Figura 68 - Histograma para vão de 3 metros (PERT)



(Autoria Própria, 2024)

De acordo com o histograma, a probabilidade de sucesso na conclusão da execução dentro desse prazo é de 38,05%, o que indica um risco de atraso de 61,95%.

4.2.3.2 Probabilidades de Sucesso para todos os sistemas estudados

A Simulação de Monte Carlo foi aplicada a todas as tipologias de laje consideradas, permitindo estimar a **probabilidade de execução dentro do prazo**, com base nos **intervalos definidos pelos cenários pessimista, provável e otimista**. Neste item adotou-se como referência comum a duração calculada pela SINAPI, que foi comparada com duas fontes distintas:

- i) Estimativas probabilísticas obtidas através do método PERT, isto é, as durações esperadas;
- ii) Durações prováveis obtidas a partir do questionário.

i) SINAPI x PERT

Conforme tabela 55, é possível perceber a probabilidade de sucesso entre as durações obtidas a partir da SINAPI e PERT, encontrada através do questionário.

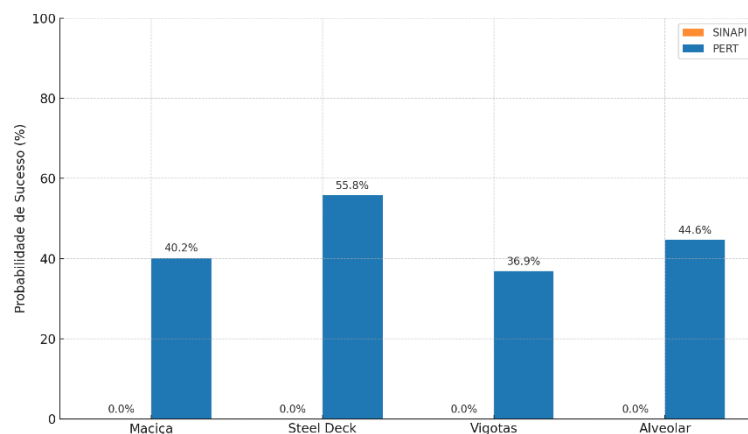
Tabela 55 – Probabilidade de Sucesso das Lajes e Vãos de acordo com a SMC (SINAPI x PERT)

% Prob. De Sucesso		Maciças		Steel Deck		Vigotas		Alveolares	
Vão (m)	Área (m ²)	SINAPI	PERT	SINAPI	PERT	SINAPI	PERT	SINAPI	PERT
5	200	0,00%	40,25%	0,00%	55,75%	0,00%	36,93%	0,00%	44,63%
4	191	18,08%	38,38%	0,00%	50,65%	0,00%	39,30%	0,00%	45,23%
3	189	17,28%	25,70%	0,00%	63,48%	0,00%	39,68%	0,00%	42,73%

(Autoria Própria, 2024)

A partir dos dados apresentados na Tabela 55, é possível perceber que a probabilidade de sucesso varia consideravelmente entre os sistemas construtivos e entre os diferentes vãos analisados. Para melhor visualização desses resultados, os gráficos a seguir ilustram, de forma individual por vão, inicialmente pela figura 69.

Figura 69 – Prob. de Sucesso pela Simulação de Monte Carlo (SINAPI x PERT) – 5 metros



(Autoria Própria, 2024)

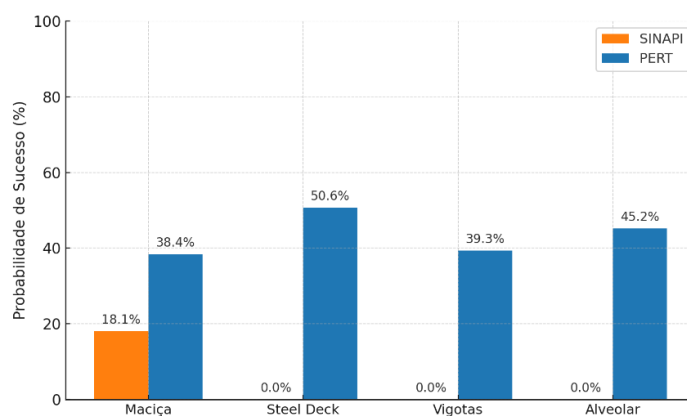
Pela simulação para o vão de 5 metros, percebeu-se as diferenças entre os sistemas analisados, apresentados a seguir:

- Laje Maciça: teve 0% de probabilidade de cumprir o prazo da SINAPI, ou seja, em nenhuma simulação é possível atingir o prazo de 110,72 horas. Com o PERT, com a duração de 121,44 horas, o valor sobe para 40,25%, mostrando que, mesmo considerando variações realistas, a SINAPI é otimista para este sistema, que por conseguinte, há um risco claro de atraso se o cronograma for baseado apenas na SINAPI.
- Laje *Steel Deck*: apresentou 0,00% de probabilidade de se atingir o prazo de 58,24 horas com a SINAPI e 55,75% com o PERT com a duração de 95,44 horas. Tal diferença, ocorrida novamente para esse sistema construtivo, reforça que os dados empiricos obtido em campo, oferecem uma estimativa mais real e conveniente ao uso em cronogramas.

- Laje de Vigotas: também teve 0% de sucesso com a SINAPI, e 36,93% com o PERT, no cumprimento do tempo de 55,52 e 86,64 horas, respectivamente. Demonstra-se que a SINAPI não representa a realidade prática deste sistema em vãos maiores.
- Laje Alveolar: assim como outras, teve 0% de probabilidade de cumprir o prazo de 44 horas da SINAPI, e 44,63% segundo o PERT, com o prazo de 78,00 horas. É o melhor resultado no modelo probabilístico, mas ainda assim, a SINAPI não é suficiente para garantir um planejamento confiável com esse sistema.

A seguir demonstra-se o gráfico para o vão de 4 metros, como indica na figura 70.

Figura 70 - Prob. de Sucesso pela Simulação de Monte Carlo (SINAPI x PERT) – 4 metros



(Autoria Própria, 2024)

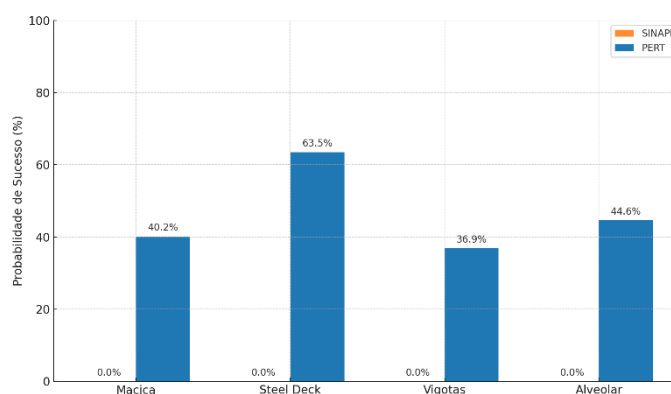
Pela simulação para o vão de 4 metros, percebeu-se as diferenças entre os sistemas analisados, apresentados a seguir:

- Laje Maciça: a probabilidade de cumprir o prazo da SINAPI é baixa (18,08%), que é de 105,92 horas. Com o PERT, sobe para 38,38% com 107,84 horas, entretanto, ainda assim significa que mais da metade das vezes o prazo não será cumprido. É um sistema com alto risco de atraso nesta tipologia de vão.
- Laje *Steel Deck*: com a SINAPI, a expectativa de cumprimento é zero. Isso mostra que o prazo pela SINAPI está fora da realidade para esse sistema. No entanto, o PERT indica uma probabilidade de 50,65%, ou seja, uma situação razoável de cumprir o prazo de 83,84 horas, se for feito um planejamento mais realista.

- Laje de Vigotas: também obteve 0% de sucesso com a SINAPI com 52,48 horas, e 39,30% com o PERT. O prazo pela SINAPI novamente não é confiável, e mesmo com estimativas ajustadas, a viabilidade de cumprir o cronograma de 68,40 horas, ainda é menor que 40%.
- Laje Alveolar: teve o mesmo comportamento: 0% com a SINAPI, e 45,23% com o PERT com prazo de 72,64 horas. Dessa maneira, o prazo da SINAPI continua inviável na prática de cumprimento do tempo de 42,00 horas.

A seguir demonstra-se o gráfico para o vão de 3 metros, pela figura 71.

Figura 71 – Prob. de Sucesso pela Simulação de Monte Carlo (SINAPI x PERT) – 3 metros



(Autoria Própria, 2024)

Assim, para os sistemas com vão de 3 metros, temos as seguintes análises:

- Maciça: possibilidade de cumprir o prazo de 96,96 horas da SINAPI é baixa (17,28%). Com o PERT, sobe para 25,70%, mas a maioria das simulações ainda aponta atraso na duração de 97,36 horas.
- *Steel Deck*: 0% com a SINAPI com a duração de 55,04 horas e apenas 63,48% com o PERT. Ou seja, para cumprir o prazo de 82 horas com esse sistema nesse vão, existe um risco de 36,52% de não cumprimento.
- Vigotas: 0% com a SINAPI com 52,48 horas, mas 39,68% para o PERT com 68,40 horas.
- Alveolares: também 0% com a SINAPI em 41,52 horas, e 42,73% com o PERT, para a duração de 70,08 horas. Foi o melhor resultado no vão de 3 metros, mas menos da metade das simulações realizadas pela SMC, atingiram o prazo, ou seja, ainda não é confiável.

ii) SINAPI x Data Provável (Questionário)

Assim, nesse item esclarece-se a análise comparativa entre a SINAPI e as datas prováveis (questionário), conforme tabela 56.

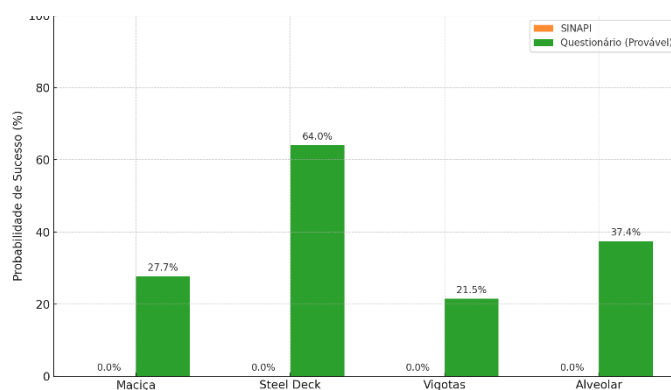
Tabela 56 - Probabilidade de Sucesso das Lajes e Vãos de acordo com a SMC (SINAPI x Questionário)

% Prob. De Sucesso		Maciças		Steel Deck		Vigotas		Alveolares	
Vão (m)	Área (m ²)	SINAPI	Provável	SINAPI	Provável	SINAPI	Provável	SINAPI	Provável
5	200	0,00%	27,70%	0,00%	63,98%	0,00%	21,48%	0,00%	37,43%
4	191	18,08%	25,50%	0,00%	53,40%	0,00%	26,53%	0,00%	38,63%
3	189	17,28%	38,00%	0,00%	63,48%	0,00%	26,90%	0,00%	33,50%

(Autoria Própria, 2024)

Tal como foi feito anteriormente, para melhor visualização desses resultados, os gráficos a seguir ilustram, de forma individual por vão. Primeiramente, o vão de 5 metros, conforme figura 72.

Figura 72 - Prob. de Sucesso pela Simulação de Monte Carlo (SINAPI x Questionário) – 5 metros



(Autoria Própria, 2024)

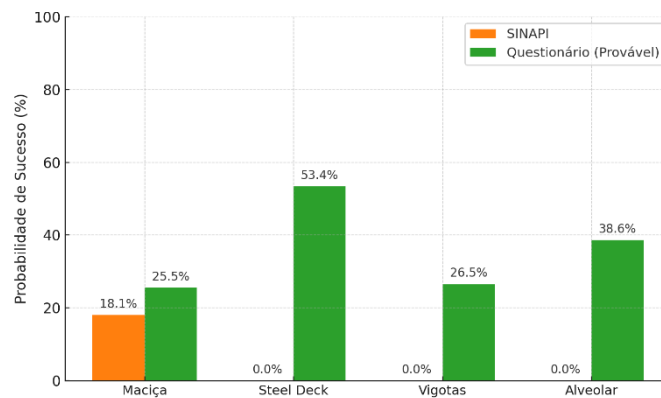
Pelo gráfico é possível perceber a expectativa de cumprimento dos prazos, onde obteve-se as seguintes análises:

- Laje Maciça: a expectativa de cumprimento da meta da SINAPI foi de 0%, enquanto a estimativa baseada no questionário indicou 27,70%. Isso demonstra que, mesmo na prática, o cumprimento do prazo 120 horas é improvável.
- Laje *Steel Deck*: obteve 0% de sucesso com a SINAPI e 63,98% com o questionário, o que indica que a percepção prática de cumprimento de 84,00 horas, tem 36,02% de potencial de atraso.

- Laje de Vigotas: apresentou 0% de sucesso com a SINAPI e 21,48% com o questionário. Ambos os valores são baixos, o que aponta para limitações na viabilidade do prazo teórico de 55,52 horas, e na expectativa de execução em obra com 84,80 horas, respectivamente.
- Laje Alveolar: com 0% de sucesso com a SINAPI e 37,43% com o questionário, teve o segundo melhor desempenho prático, mas ainda inferior a 40%, o que indica atenção no planejamento do tempo de 77,36 horas com este sistema.

A seguir temos o vão de 4 metros, conforme ilustrado pela imagem 73.

Figura 73 - - Prob. de Sucesso pela Simulação de Monte Carlo (SINAPI x Questionário) – 4 metros



(Autoria Própria, 2024)

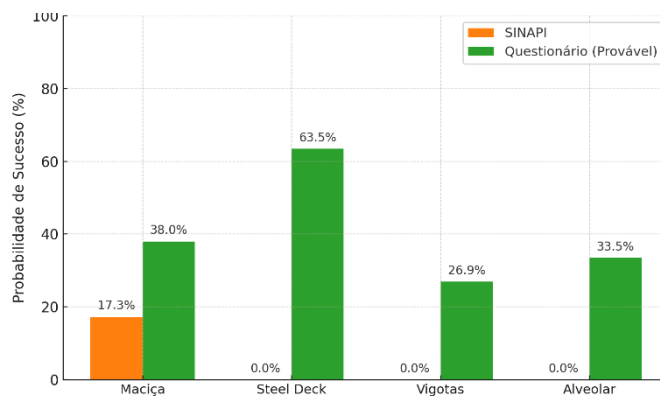
A partir do gráfico, nota-se as seguintes observações:

- Maciça: apresentou 18,08% com a SINAPI e 25,50% com o questionário. Os dois valores são baixos, indicando-se que a expectativa de execução dentro do prazo de 106,64 horas previsto é limitada, mesmo considerando a experiência prática dos profissionais.
- Steel Deck: teve 0% de sucesso com a SINAPI e 53,40% com o questionário. A diferença entre os dois resultados mostra que o prazo pela SINAPI subestima o tempo necessário de 55,60 horas. Entretanto, a percepção prática com 84,00 horas revela um desempenho mais favorável.
- Vigotas: registrou 0% com a SINAPI e 26,53% com o questionário. Ambos os valores são baixos, o que indica baixa probabilidade de cumprimento da meta teórica com 53,04 horas, e por outro lado, mesmo com base na duração de 72 horas, informada pelos engenheiros.

- Alveolares: também apresentou 0% com a SINAPI de 42 horas e 38,63% com a duração de 72 horas com o questionário, que apesar de ter o segundo melhor desempenho entre as quatro, tem menos de 40% sucesso do prazo, denotando que apontam para necessidade de ajustes no planejamento.

Por fim, temos o gráfico para o vão de 3 metros, conforme indica a figura 74.

Figura 74 - Prob. de Sucesso pela Simulação de Monte Carlo (SINAPI x Questionário) – 3 metros



(Autoria Própria, 2024)

Da mesma maneira, nota-se a partir do gráfico as seguintes percepções:

- Maciça: 17,28% com a SINAPI, 38,00% com o questionário. Mesmo com base prática, a possibilidade de cumprir o prazo de 96,00 horas é inferior a 40%. Há alto risco de atraso.
- *Steel Deck*: 0% com a SINAPI, 63,48% com o questionário. A SINAPI não representa a realidade, mas o resultado prático é o melhor entre todos os sistemas neste vão, com duração de 86 horas de execução.
- Vigotas: 0% com a SINAPI, 26,90% com o questionário. Ambas as probabilidades são baixas, indicando dificuldade em atingir o prazo de 67,20 horas, mesmo com planejamento baseado em dados reais.
- Alveolares: 0% com a SINAPI, 33,50% com o questionário. O desempenho prático é superior ao das vigotas, mas a viabilidade de sucesso continua inferior a 40%, no cumprimento do prazo de 69,36 horas.

4.2.4 Desempenho Global

Ao integrar os resultados dos dois blocos da Simulação de Monte Carlo (comparações com estimativas PERT e com a duração provável do questionário), juntamente com os

dados de produtividade, foi possível identificar o desempenho global de cada sistema de laje, conforme tabela 57.

Tabela 57 - Desempenho e recomendações para os sistemas de lajes

Sistema de Laje	Prob.de Sucesso	Produtividade	Riscos	Recomendações
Maciça	Baixa (especialmente em vãos maiores)	Baixa	Elevado risco de atrasos com SINAPI; execução mais artesanal	Usar cronogramas mais flexíveis; reforçar equipe; considerar folgas; basear-se em dados reais
<i>Steel Deck</i>	Alta (PERT e questionário)	Boa, principalmente em vãos maiores	Pouca variabilidade; bom desempenho geral	Ideal para obras com prazos curtos; planejar logística; registrar produtividade; integrar frentes
Vigotas	Moderada (com PERT); baixa (com questionário)	Inferior ao Steel Deck	Sensível a imprevistos e variabilidade em campo	Ajustar prazos; controlar logística; evitar retrabalhos; usar com cautela em canteiros imprevisíveis
Alveolares	Relativamente alta (com PERT); baixa (com questionário)	Melhor produtividade entre os sistemas	Dependente de boa logística e padronização; SINAPI subestima prazos	Aplicar em obras modulares; evitar acessos difíceis; planejar com cronogramas realistas

(Autoria Própria, 2024)

5 CONCLUSÃO

5.1 Principais Conclusões

Este estudo avaliou a eficiência de quatro sistemas de laje (maciça, *steel deck*, vigotas e alveolares) aplicados em três vãos distintos (3m, 4m e 5m), a partir da integração entre dados práticos, obtidos por meio de questionário, e dados normativos da tabela de rendimentos da SINAPI (utilizada no Brasil).

A análise combinou produtividade, planejamento por rede (CPM e CPM com PERT) e simulação probabilística (Monte Carlo), visando estimar a probabilidade de cumprimento de prazos para cada cenário.

A utilização do método PERT permitiu estimar durações esperadas mais realistas, considerando variações práticas. Já a Simulação de Monte Carlo, aplicada sobre essas estimativas e também sobre os valores mais frequentes informados no questionário, revelou o risco real de atraso associado a cada sistema.

A análise dos resultados mostrou diferenças claras entre as três abordagens de estimativa de prazo utilizadas neste estudo: a duração da SINAPI, a estimativa probabilística calculada por PERT, e a duração provável informada no questionário pelos profissionais de obra.

De forma geral, os cronogramas baseados na SINAPI apresentaram as menores probabilidades de sucesso em praticamente todos os sistemas e vãos analisados. Por exemplo, a probabilidade de cumprir o prazo teórico foi de apenas 0% para a laje Steel Deck, 0% para a Maciça, 0% para a de Vigotas e 0% para a Alveolar no vão de 5 metros. Esses dados refletem a forte subestimação dos tempos reais de execução por parte da SINAPI, especialmente em sistemas com maior grau de industrialização ou dependência logística.

Isso pois, pela forma como a SINAPI calcula os tempos de execução: os coeficientes de mão de obra (RUP) fornecidos nas composições representam valores acumulados (RUPcum), ou seja, correspondem ao total de horas necessárias para a execução de uma unidade de serviço, considerando apenas um trabalhador.

Ao utilizar esses dados para estimar durações de atividades no cronograma, é necessário ajustá-los pela quantidade real de operários prevista em obra. No entanto, mesmo após esse ajuste, os cronogramas baseados na SINAPI ainda apresentaram prazos

significativamente mais curtos do que os observados na prática, o que evidencia uma subestimação do esforço real, possivelmente por não considerar perdas, interferências, variações de produtividade e condições de canteiro comuns em obras reais.

Já as estimativas baseadas no PERT apresentaram resultados mais realistas, com probabilidades de 40,2% para a Maciça, 55,8% para a *Steel Deck*, 36,9% para a de Vigotas e 44,6% para a Alveolar, revelando-se a vantagem de considerar incertezas nos prazos.

As simulações baseadas nos dados prováveis do questionário reforçaram ainda mais essa tendência. A probabilidade de cumprimento do prazo para o sistema *Steel Deck* foi de 64,0%, enquanto os demais sistemas tiveram desempenho inferior: 27,7% (Maciça), 21,5% (Vigotas) e 37,4% (Alveolar).

Portanto, os resultados deixam claro que a utilização exclusiva de valores da SINAPI pode comprometer seriamente o planejamento realista de obras, sendo recomendável combiná-los com técnicas como PERT e simulações de Monte Carlo, além de considerar dados práticos de campo, especialmente em obras com exigência de controle de prazo.

5.2 Contributos do estudo

Este trabalho contribui diretamente para a prática da engenharia civil ao oferecer uma abordagem mais precisa e realista para o planejamento de prazos de execução de sistemas de laje. Ao integrar dados de campo com ferramentas probabilísticas, foi possível demonstrar que a simples adoção de composições normativas — como as da SINAPI — não garante confiabilidade no cronograma, e pode resultar em atrasos significativos quando aplicada sem critério.

A utilização combinada do método PERT com a Simulação de Monte Carlo mostrou-se uma estratégia eficaz para quantificar o risco de atraso em diferentes sistemas e cenários. Isso representa um avanço relevante para o planejamento de obras, permitindo ao engenheiro não apenas estimar uma duração média, mas também avaliar a probabilidade de cumpri-la, o que é essencial para a tomada de decisão em contratos com restrições de prazo ou cláusulas de penalidade.

Outro contributo importante está na forma como o estudo confronta produtividade e previsibilidade. Os resultados mostraram que sistemas com alta produtividade nem sempre são os mais previsíveis, e que sistemas tradicionais, como a laje maciça, podem

comprometer prazos mesmo sendo amplamente utilizados. Esse tipo de leitura ajuda engenheiros de obra a verificar além do rendimento por metro quadrado, e considerar fatores como variabilidade, logística e estabilidade estatística na escolha da solução construtiva.

Além disso, o estudo fornece uma ferramenta prática de apoio à decisão: a probabilidade de sucesso, obtida com base em dados reais, pode ser incorporada diretamente em softwares de planejamento, planilhas de controle e reuniões de obra, trazendo dados objetivos para embasar o cronograma, em vez de depender exclusivamente da experiência ou da intuição do engenheiro.

A partir dos resultados, foi possível extrair conclusões práticas para cada sistema construtivo analisado:

- Laje Maciça demonstrou baixa produtividade e baixíssima aderência aos prazos tanto normativos quanto estimados, especialmente em vãos maiores. Sua adoção exige cronogramas mais conservadores e reservas de prazo maiores, sendo mais indicada para situações simples e vãos curtos.
- Laje *Steel Deck* foi o sistema com melhor desempenho geral, apresentando as maiores probabilidades de sucesso, inclusive com 63,5% no modelo PERT. Sua produtividade e estabilidade tornam este sistema o mais indicado para obras com restrições de prazo e necessidade de agilidade.
- Laje de Vigotas apresentou comportamento instável, com baixa probabilidade de cumprimento do prazo segundo os dados práticos (21,5%). É um sistema sensível às condições do canteiro e à logística, recomendando-se cuidado redobrado no planejamento e controle de execução.
- Laje Alveolar, apesar de sua alta produtividade, as baixa probabilidade de cumprir os prazos, principalmente com dados reais (37,4%). Isso indica que seu bom desempenho depende de logística bem planejada e repetição de elementos. É indicada para obras padronizadas com controle rigoroso.

Esses resultados reforçam que cada sistema demanda estratégias específicas de planejamento e que a adoção de abordagens probabilísticas contribui para a redução do risco de atrasos e aumento da previsibilidade nos cronogramas.

Por fim, a metodologia apresentada é replicável e adaptável: pode ser aplicada a outros sistemas construtivos, regiões e contextos, bastando a coleta de dados empíricos e a aplicação das técnicas de simulação descritas. Isso amplia seu valor não apenas como estudo de caso, mas como modelo de aplicação prática na gestão de prazos na construção civil.

5.3 Limitações

Embora os dados utilizados neste estudo tenham sido obtidos com base em respostas de profissionais experientes da construção civil, toda estimativa de prazo está naturalmente sujeita a incertezas associadas às condições específicas de cada obra. Fatores como clima, atrasos na entrega de materiais, disponibilidade de mão de obra, limitações logísticas do canteiro e diferenças regionais na execução podem afetar de forma significativa a produtividade e o cumprimento dos prazos planejados.

Além disso, a recolha de dados por meio de questionário envolve certo grau de subjetividade. As respostas refletem a percepção individual dos engenheiros e podem ser influenciadas por memória, experiência específica e contexto de atuação. Apesar do número relevante de participantes e da aplicação de métodos estatísticos para tratamento das variações, é necessário reconhecer que os dados representam tendências e não garantias absolutas.

Outro aspecto a ser considerado é o uso combinado de diferentes fontes de dados, como a SINAPI e os resultados do questionário. Enquanto a SINAPI fornece uma base nacional padronizada com critérios de composição fixos, os dados empíricos refletem situações práticas, muitas vezes condicionadas por particularidades regionais ou operacionais. A comparação entre essas fontes exige cautela e interpretação contextualizada. Neste estudo, procurou-se minimizar esse risco por meio da aplicação de ferramentas probabilísticas que incorporam a variação dos cenários analisados.

Por fim, é importante destacar que o escopo desta pesquisa se concentrou em sistemas de lajes. Outras interferências de projeto, como limitações arquitetônicas, interferência com instalações e restrições operacionais, não foram consideradas. Dessa maneira, recomenda-se que estudos futuros ampliem essa abordagem para outros sistemas construtivos e verifiquem os resultados por meio de medições diretas em obras monitoradas, mais futuras linhas de investigação serão demonstradas no próximo item.

5.4 Futuras linhas de investigação

Como desdobramento futuro, sugere-se a criação de manuais de aplicação da Simulação de Monte Carlo em cronogramas de obra, com diretrizes claras para a coleta e tratamento de dados, bem como sua incorporação em softwares de planejamento.

Recomenda-se, também, ampliar a aplicação do modelo para além da etapa de execução de lajes, estendendo-se ao cronograma global de uma obra, contemplando recursos de tempo, custo, equipe e variáveis de risco, com o objetivo de apoiar a tomada de decisão mais precisa e fundamentada por parte dos gestores de projeto.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A Jabar, M., Sidi, F., Selamat, M. H., Abd Ghani, A. A., & Ibrahim, H. (2009). An Investigation into Methods and Concepts of Qualitative Research in Information System Research. *Computer and Information Science*, 2(4). <https://doi.org/10.5539/cis.v2n4p47>
- Akinradewo, O., Aigbavboa, C., Fatai Ogunbayo, B., Thwala, D., Tanga, O., & Akinradewo, O. (2022). Construction Project Planning Techniques: Awareness, Usage and Suitability. *Production Management and Process Control*, 36. <https://doi.org/10.54941/ahfe1001624>
- Allen, S., & Hardin, P. C. (2008). Developing Instructional Technology Products Using Effective Project Management Practices. In *Journal of Computing in Higher Education Spring* (Vol. 19, Issue 2).
- Alves de Oliveira, P. E., Schramm, F., & Batista Schramm, V. (2019). Abordagem De Gerenciamento Do Cronograma Para Auxiliar Na Redução De Incertezas Em Projetos Da Construção Civil. *Vol 51, 2019*. <https://doi.org/10.59254/sbpo-2019-107024>
- Arcelor Mittal Perfilor. (2016). Catálogo Técnico Polydeck 59s.
- Arunmohan, A. M., & Lakshmi, M. (2018). Analysis of modern construction projects using montecarlo simulation technique. In *International Journal of Engineering & Technology* (Vol. 7, Issue 2). www.sciencepubco.com/index.php/IJET

- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2015). *NBR ISO 9000: Sistemas de gestão da qualidade: Fundamentos e vocabulário*. www.abnt.org.br
- Ballesteros-Pérez, P., Sanz-Ablanedo, E., Soetanto, R., González-Cruz, Ma. C., Larsen, G. D., & Cerezo-Narváez, A. (2020). Duration and Cost Variability of Construction Activities: An Empirical Study. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(1). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001739](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001739)
- Barcui, A. B., Borba, D., Silva, I. M. da, & Neves, R. B. (2010). *Ger. do tempo 3a ed. 3a prova.pmd* (3a ed.). Editora FGV.
- Bonate, P. L. (2001). A brief introduction to Monte Carlo simulation. In *Clinical Pharmacokinetics* (Vol. 40, Issue 1, pp. 15–22). Adis International Ltd. <https://doi.org/10.2165/00003088-200140010-00002>
- Caixa Econômica Federal. (2023). Sinapi Metodologias E Conceitos. 9a Edição. Sistema Nacional De Pesquisa De Custos E Índices Da Construção Civil. <http://www.caixa.gov.br>
- Chaer, G., Ribeiro, E. A., & Diniz, R. R. P. (2011). A técnica do questionário na pesquisa educacional. *Evidência*, 7, 251–266.
- Churchill, C., & Coster, D. (2001). *Microfinance Risk Management Handbook*.
- Coêlho, R. S. de A. (2006). *Planejamento e controle de custos nas edificações*. UEMA Editora.
- Cretu, O., Stewart, R., & Berends, T. (2011). *Risk Management For Design And Construction* (1 ed.). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- Cruz, E. C., Oliveira, T., & Gurgel, A. M. (2020). Desenvolvimento de um framework para o planejamento de compras públicas: estudo em uma Universidade Federal. *Revista de Gestão e Projetos*, 11(3), 94–116. <https://doi.org/10.5585/gep.v11i3.18475>
- Escola Nacional de Administração Pública. (2014). *Gerência de Projetos-Teoria e Prática*.

- Eugênio, F., & Lima, C. (2023). Soluções Práticas Na Implementação De Lean Construction Em Estaleiros De Construção: Estudo De Caso. Instituto Politécnico de Bragança.
- Festas, M. P. (2018). Fatores De Atraso Em Obras Públicas-Estudo De Caso Do Novo Prédio Da Engenharia Florestal (UNB). Universidade de Brasília.
- Freitas Rodrigues, D., & Barbosa Sobral, A. P. (2023). Simulação de Monte Carlo aplicada à projetos de recertificação de 5 anos em equipamentos de superfície para perfuração de poços de petróleo offshore. *Revista de Gestão e Projetos*, 14(1), 96–132. <https://doi.org/10.5585/gep.v14i1.23452>
- Ghorbani, M. K., Hamidifar, H., Skoulikaris, C., & Nones, M. (2022). Concept-Based Integration of Project Management and Strategic Management of Rubber Dam Projects Using the SWOT–AHP Method. *Sustainability (Switzerland)*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/su14052541>
- Gil, A. C. (2010). Como Elaborar Projetos de Pesquisa (5. ed). Atlas.
- Goldman, P. (2004). Introdução Ao Planejamento E Controle De Custos Na Construção Civil Brasileira. Editora Pini.
- Halpin, D. W., & Senior, B. A. (2011). Construction Management (4 Ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Harrison, R. L. (2009a). Introduction to Monte Carlo simulation. *AIP Conference Proceedings*, 1204, 17–21. <https://doi.org/10.1063/1.3295638>
- Harrison, R. L. (2009b). Introduction to Monte Carlo simulation. *AIP Conference Proceedings*, 1204, 17–21. <https://doi.org/10.1063/1.3295638>
- Jaafari, A. (2001). Management of risks, uncertainties and opportunities on projects: time for a fundamental shift. In *International Journal of Project Management* (Vol. 19). www.elsevier.com/locate/ijproman
- John Ragel, L. B., Subia, G. S., Mina, J. C., & Campos, R. B. (2021). Limitations Of Pert/Cpm In Construction Management Planning: Inputs To Mathematics In Architecture Education. In *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education* (Vol. 12, Issue 10).

- Kerzner, H. (2009). *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling* (10th ed.). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken,.
- Kroese, D. P., Brereton, T., Taimre, T., & Botev, Z. I. (2014). Why the Monte Carlo method is so important today. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 386–392.
- Kwon, K., Kang, M., Kim, D., & Choi, H. (2023). Prioritization of Hazardous Zones Using an Advanced Risk Management Model Combining the Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Set Theory. *Sustainability (Switzerland)*, 15(15). <https://doi.org/10.3390/su151512018>
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (2015). *DA 60 Documento de Aplicação “Pavimir.”*
- Lajes TATU. (2021). *Manual de Dimensionamento Lajes Alveolares.*
- Lester, Albert. (2007). *Project Management, Planning And Control.* Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Marconi, M., & Lakatos, E. (2017). *Fundamentos De Metodologia Científica* (8 ed.). Editora Atlas.
- Mattos, A. D. (2019). *Planejamento e controle de obras.* Editora Pini
- Medeiros, B. C., Sousa Neto, M. V. de, Nobre, A. C. dos S., & Nogueira, G. M. F. (2017). Planejando projetos com o Life Cycle Canvas (LCC): um estudo sobre um projeto de infraestrutura pública estadual. *Exacta*, 15(1), 155–170. <https://doi.org/10.5585/exactaep.v15n1.6947>
- Melhado, S., & Bottura De Barros, M. (2006). *Recomendações Para A Produção De Estruturas De Concreto Armado Em Edifícios.* <https://www.researchgate.net/publication/283272767>
- Mendes, L. M. N. (2017). *Proposta De Método Para Avaliação De Riscos Relacionados A Desvio De Prazos De Construção De Obras Residenciais.*
- Mendonça, P M. (2020). *Análise Comparativa De Assertividade Dos Métodos Cpm E Simulação De Monte Carlo Para Cronogramas De Projetos.* Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

- Merriam, S. B. (2009). *Qualitative Research A Guide to Design and Implementation*. John Wiley & Sons, Inc.
- Nový, M., Nováková, J., & Waldhans, M. (2012). *PROJECT MANAGEMENT IN BUILDING INDUSTRY MANAGEMENT* (Vol. 21, Issue 7).
- Paiva, V. B. (2021). Análise Do Desempenho De Regra De Negociação Via Redes Neurais Artificiais Em Operações Day Trade [Mestrado Profissional Em Engenharia De Produção E Sistemas, Universidade Federal Fluminense]. <https://doi.org/10.22409/PPG-MESC.2021.m.11433932792>
- Pavicer. (2006). *Manual de Aplicação: Alveolar*.
- Pecina, E., Miloš Sprčić, D., & Dvorski Lacković, I. (2022). Qualitative Analysis of Enterprise Risk Management Systems in the Largest European Electric Power Companies. *Energies*, 15(15). <https://doi.org/10.3390/en15155328>
- Platon, V., & Constantinescu, A. (2014). Monte Carlo Method in Risk Analysis for Investment Projects. *Procedia Economics and Finance*, 15, 393–400. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(14\)00463-8](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(14)00463-8)
- Pozzo, M. I., Borgobello, A., & Pierella, M. P. (2019). Using questionnaires in research on universities: analysis of experiences from a situated perspective. *Revista d'Innovacion i Recerca En Educacio*, 12 (2). <https://doi.org/10.1344/reire2019.12.227010>
- Project Management Institute, & Project Management Institute. (2017). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*.
- Ramos, E. G. L. (2019). Planejamento De Prazo No Setor Da Construção Civil: Um Estudo Das Técnicas Utilizadas Em Obras Na Cidade De São Luis-Ma.
- Ranganathan, P., & Caduff, C. (2023). Designing and validating a research questionnaire - Part 1. *Perspectives in Clinical Research*, 14(3), 152–155. https://doi.org/10.4103/picr.picr_140_23
- Rathi, T., & Ronald, B. (2022). Questionnaire as a Tool of Data Collection in Empirical Research. In *Journal of Positive School Psychology* (Vol. 2022, Issue 5). <http://journalppw.com>

- Raychaudhuri, S. (2013). Introduction To Monte Carlo Simulation. *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, 91–97.
- Rei, C. M. (2005). Analisar e Medir a Produtividade. In Escola Superior de Tecnologia e Gestão da Guarda (Ed.), *Escola Superior de Tecnologia e Gestão da Guarda: Vol. Volume 3*. Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social. www.estg.ipg.pt
- Rodrigues De Sousa, P. A. (2012). Gestão De Projectos Modelo Para Gestão E Controlo De Custos De Obras De Construção Civil.
- Santos, L. A. B., Lima, J. M. M. V., & Garcia, F. Mi. G. P. P. (2019). Orientações Metodológicas Para A Elaboração De Trabalhos De Investigação (2a ed). Instituto Universitário Militar.
- Sears, S. K., Sears, G. A., Clough, R. H., Rounds, J. L., & Segner Jr, R. O. (2015). *Construction Project Management* (6 Ed). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). (2023). *Caderno Técnico do Serviço-Alvenaria de Vedação*. www.caixa.gov.br/sinapi.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Sobieraj, J., & Metelski, D. (2022). Project Risk in the Context of Construction Schedules—Combined Monte Carlo Simulation and Time at Risk (TaR) Approach: Insights from the Fort Bema Housing Estate Complex. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/app12031044>
- Vergara, W. R., Teixeira, R. T., & Yamanari, J. S. (2017). Análise de risco em projetos de engenharia: uso do PERT/CPM com simulação. *Exacta*, 15(1), 74–88. <https://doi.org/10.5585/exactaep.v15n1.6779>
- Yin, R. K. (2015). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Bookman.
- Yu, X., & Zuo, H. (2022). Intelligent Construction Optimization Control of Construction Project Schedule Based on the Fuzzy Logic Neural Network

Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022.
<https://doi.org/10.1155/2022/8111504>

Zhang, S., & Jin, L. (2020). Research on Software Project Schedule Management Method based on Monte Carlo Simulation. In *2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC 2020)*.

Apêndice A

Questionário: Análise Comparativa entre processos executivos de diferentes tipos de lajes

Este questionário visa coletar informações detalhadas sobre as durações associados à execução de diferentes tipos de lajes, como lajes maciças, alveolares, Steel deck e vigotas aligeiradas (pré-tensionadas). Seu feedback será essencial para formular um Plano de Avaliação e Revisão de Técnicas (PERT), permitindo uma melhor compreensão do projeto e antecipando possíveis desafios, além de serem dados essenciais para uma dissertação de mestrado, intitulada:

“Análise comparativa de planejamento utilizando o CPM em sistemas construtivos”,

** Questão obrigatória**

SEÇÃO 1

1. Qual sua idade? *

- Entre 18 e 30
- Entre 31 e 40
- Entre 41 e 50
- Entre 51 e 60
- Mais de 60

2. Qual sua profissão? *

3. Qual o nome da sua empresa ou na qual trabalha?

4. Há quanto tempo possui experiências em execução de obras, precisamente em lajes? *

- 1 ano
- 1 a 3 anos
- 3 a 5 anos
- Mais de 5 anos
- Mais de 10 anos

Duração dos processos construtivos (SEÇÃO 2)

Nessa fase, o objetivo é determinar as durações das etapas que compõe o processo construtivo de uma laje,

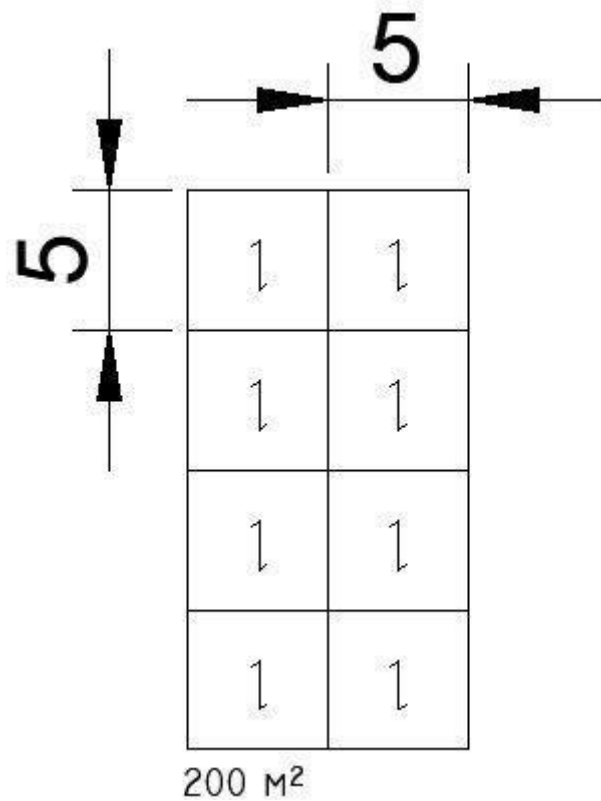
5. Agora, selecione uma laje que tenha mais experiência e mais afinidade em relação aos processos construtivos: *

- Aligeiradas (vigotas) *Passa para a questão 6 (SEÇÃO 3)*
- Alveolar *Passa para a questão 30 (SEÇÃO 4)*
- Maciças *Passa para a questão 54 (SEÇÃO 5)*
- Steel Deck *Passa para a questão 78 (SEÇÃO 6)*

Laje Aligeirada (SEÇÃO 3)

Estime as durações das tarefas que compõe o processo executivo da laje, Suponha que a estrutura já esteja dimensionada com cargas usuais e que o canteiro de obra tenha acesso para caminhão - betoneira, e esteja organizado,

Suponha, uma LAJE DE VIGOTAS com vãos de 5 metros entre apoios, com 200m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,



6. Para a MONTAGEM DAS FORMAS E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias:*

7. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

8. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias:*

9. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

10. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias, considere feita por caminhão-bomba: *

11. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

12. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

5%

10%

20%

25%

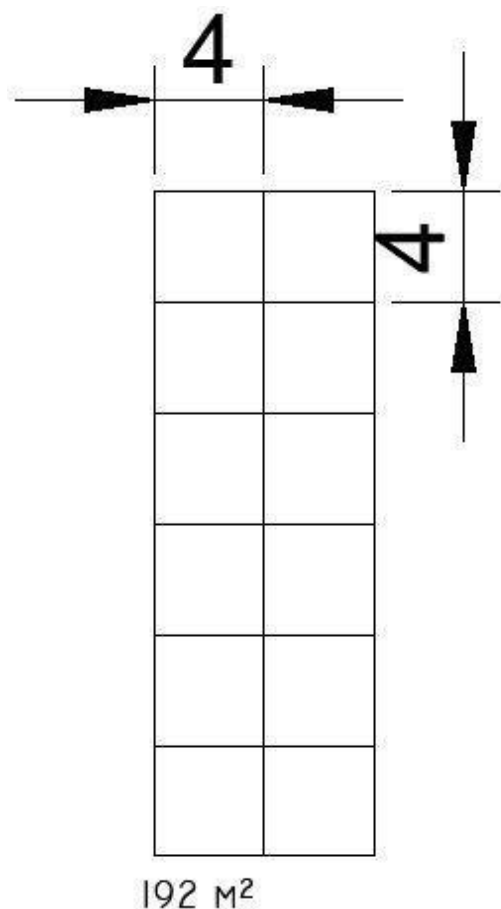
30%

Autre: _____

13. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre: _____

Agora suponha, uma LAJE DE VIGOTAS com vãos de 4 metros entre apoios, com 192m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,



14. Para a MONTAGEM DAS FORMAS E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, em dias, considerando um cenário mais provável: *

15. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

16. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

17. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

18. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *

-
19. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

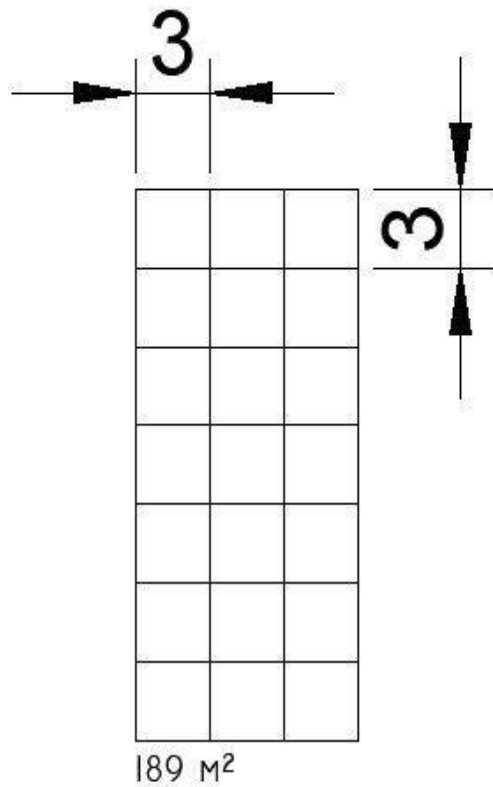
20. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre : _____

21. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre : _____

Agora suponha, uma LAJE DE VIGOTAS com vãos de 3 metros entre apoios, com 189m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,



22. Para a MONTAGEM DAS FORMAS E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

23. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

24. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

25. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

-
26. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *

-
27. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

-
28. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre :
-

29. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

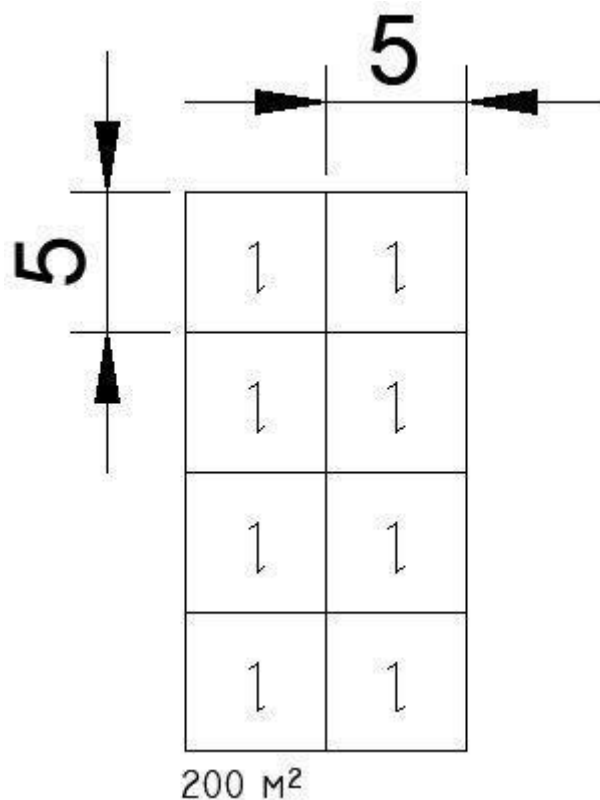
- 5%
 - 10%
 - 20%
 - 25%
 - 30%
 - Autre :
-

Passa para a questão 102

Laje Alveolar (SEÇÃO 4)

Estime as durações das tarefas que compõe o processo executivo da laje, Suponha que a estrutura já esteja dimensionada com cargas usuais e que o canteiro de obra tenha acesso para caminhão - betoneira, e esteja organizado,

Suponha, uma LAJE ALVEOLAR com vãos de 5 metros entre apoios, com 200m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,



30. Para a MONTAGEM DA LAJE, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

31. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

32. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, em dias, considerando um cenário mais provável, considere apenas armaduras nos apoios e de ligação, *

33. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

34. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *

35. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

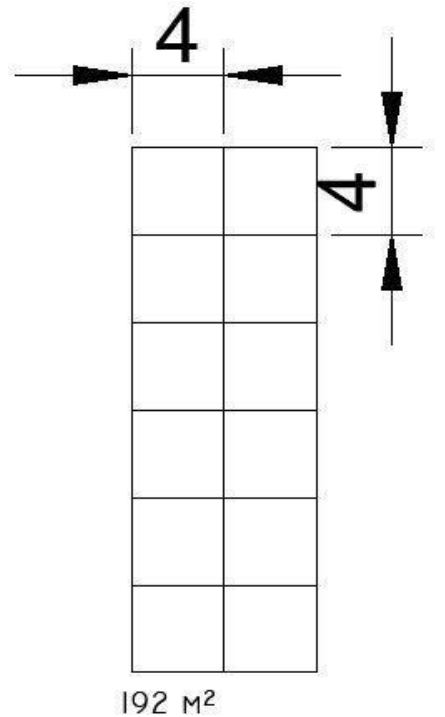
36. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

- 5%
 - 10%
 - 20%
 - 25%
 - 30%
 - Autre :
-

37. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

- 5%
 - 10%
 - 20%
 - 25%
 - 30%
 - Autre :
-

Agora suponha, uma LAJE ALVEOLAR com vãos de 4 metros entre apoios, com 192m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,



38. Para a MONTAGEM DAS FORMAS E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

39. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

40. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere apenas armaduras nos apoios e de ligação, em dias: *

41. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

42. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *

43. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

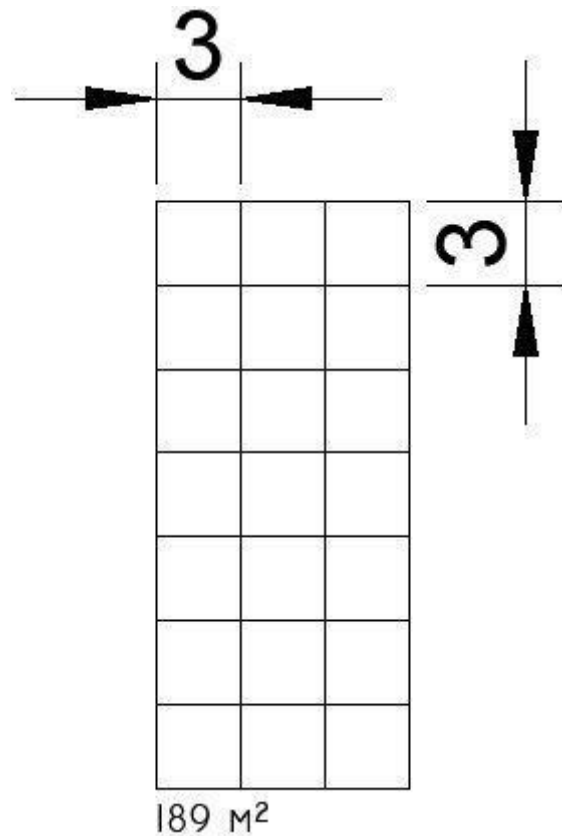
44. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre : _____

45. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre : _____

Agora suponha, uma LAJE ALVEOLAR com vãos de 3 metros entre apoios, com 189m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,



46. Para a MONTAGEM DAS FORMAS E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

47. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

48. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere apenas armaduras nos apoios e de ligação, em dias: *

49. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

50. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *

51. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

52. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre :

53. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

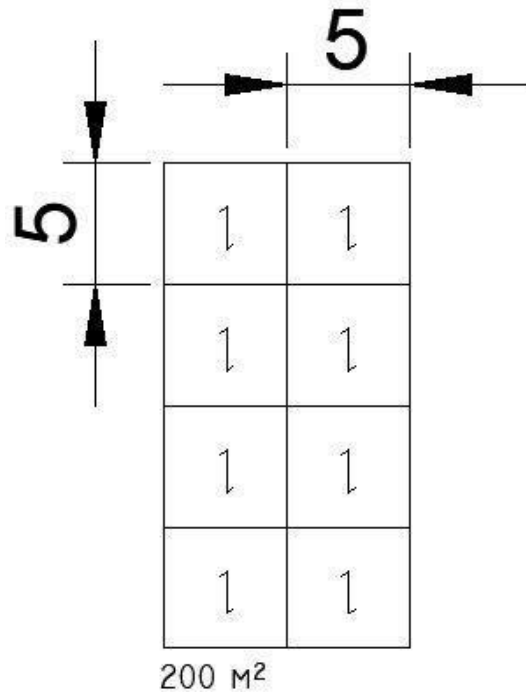
- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre :
-

Passa para a questão 102

Laje Maciça (SEÇÃO 5)

Estime as durações das tarefas que compõe o processo executivo da laje, Suponha que a estrutura já esteja dimensionada com cargas usuais e que o canteiro de obra tenha acesso para caminhão - betoneira, e esteja organizado,

Suponha, uma LAJE MACIÇA com vãos de 5 metros entre apoios, com 200m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,



54. Para a MONTAGEM DA LAJE, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

55. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

56. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

57. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

58. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *

59. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

60. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

5%

10%

20%

25%

30%

Autre :

61. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

5%

10%

20%

25%

30%

Autre :

Agora suponha, uma LAJE MACIÇA com vãos de 4 metros entre apoios, com 192m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,

62. Para a MONTAGEM DAS FORMAS E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

63. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

64. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

65. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

66. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *

67. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

68. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

5%

10%

20%

25%

30%

Autre :

69. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

5%

10%

20%

25%

30%

Autre : _____

Agora suponha, uma LAJE MACIÇA com vãos de 3 metros entre apoios, com 189m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,

70. Para a MONTAGEM DAS FORMAS E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *
71. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *
72. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias:*
73. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *
74. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *
75. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

76. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

5%

10%

20%

25%

30%

Autre :

77. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

5%

10%

20%

25%

30%

Autre :

Passa para a questão 102

Laje Steel Deck (SEÇÃO 6)

Estime as durações das tarefas que compõe o processo executivo da laje, Suponha que a estrutura já esteja dimensionada com cargas usuais e que o canteiro de obra tenha acesso para caminhão - betoneira, e esteja organizado,

Suponha, uma LAJE STEEL DECK com vãos de 5 metros entre apoios, com 200m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,

78. Para a MONTAGEM DA ESTRUTURA (placas) E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

79. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

80. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

81. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

82. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *

83. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

84. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

5%

10%

20%

25%

30%

Autre :

85. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

5%

10%

20%

25%

30%

Autre :

Agora suponha, uma LAJE STEEL DECK com vãos de 4 metros entre apoios, com 192m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,

86. Para a MONTAGEM DA ESTRUTURA (placas) E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

87. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

88. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

89. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

90. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão bomba, em dias:*

91. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *
92. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *
93. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

5%

10%

20%

25%

30%

Autre :

Agora suponha, uma LAJE STEEL DECK com vãos de 3 metros entre apoios, com 189m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,

94. Para a MONTAGEM DAS ESTRUTURA (placas) E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

95. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *
96. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, * considerando um cenário mais provável, em dias: *
97. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *
98. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *
99. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *
100. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo

ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

5%

10%

20%

25%

30%

Autre:

101. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

5%

10%

20%

25%

30%

Autre: _____

MUITO OBRIGADO! (SEÇÃO 7)

Agradeço sua participação e dedicação disponível para a realização desse questionário!

Este conteúdo não foi escrito nem endossado pelo Google,

Forms

78. is provável, em dias: *

79. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

80. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *

81. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

82. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

5%

10%

20%

25%

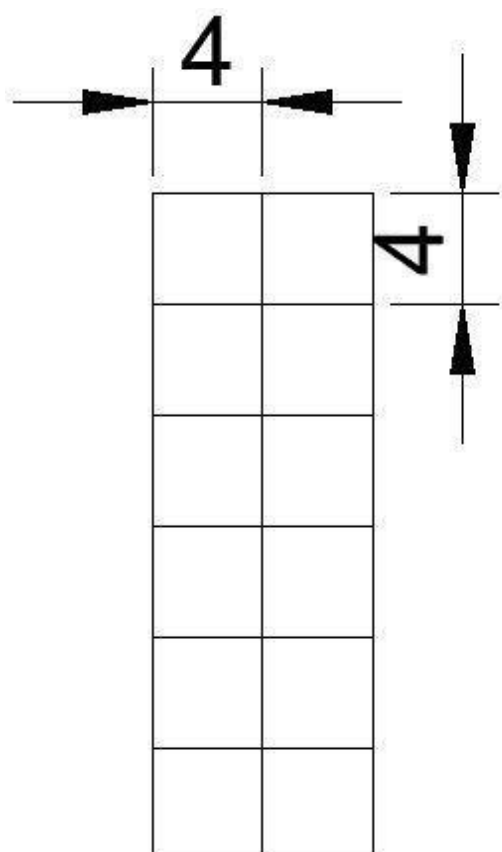
30%

Autre : _____

83. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

- 5%
 - 10%
 - 20%
 - 25%
 - 30%
 - Autre :
-

Agora suponha, uma LAJE MACIÇA com vãos de 4 metros entre apoios, com 192m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,



192 m²

84. Para a MONTAGEM DAS FORMAS E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

85. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

86. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

87. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

-
88. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *

-
89. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

-
90. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

5%

10%

20%

25%

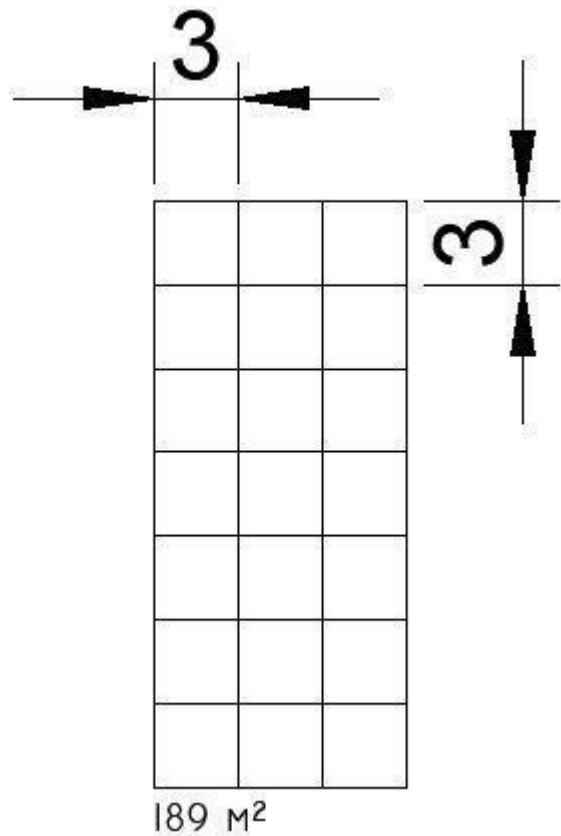
30%

Autre : _____

91. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre : _____

Agora suponha, uma LAJE MACIÇA com vãos de 3 metros entre apoios, com 189m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,



92. Para a MONTAGEM DAS FORMAS E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

93. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

94. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias:*

95. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

96. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *

97. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

98. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre : _____

99. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

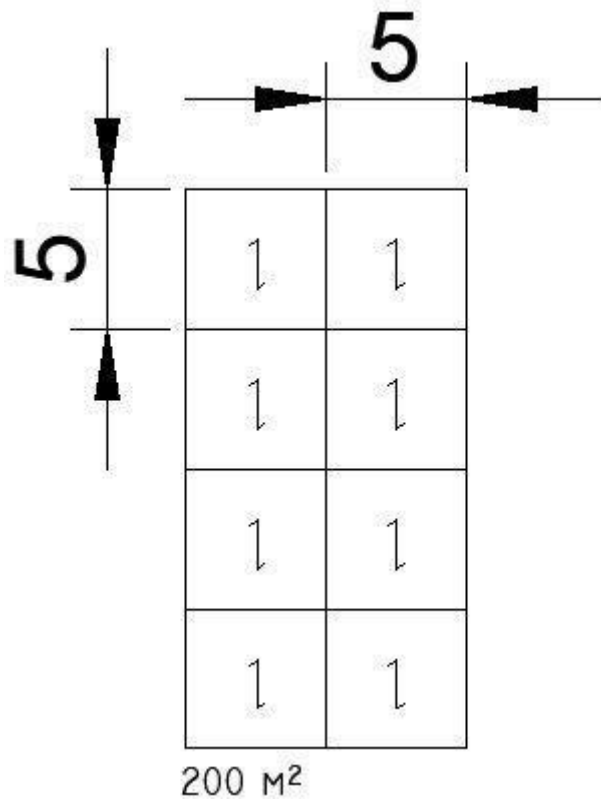
- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre : _____

Passa para a questão 102

Laje Steel Deck (SEÇÃO 6)

Estime as durações das tarefas que compõe o processo executivo da laje, Suponha que a estrutura já esteja dimensionada com cargas usuais e que o canteiro de obra tenha acesso para caminhão - betoneira, e esteja organizado,

Suponha, uma LAJE STEEL DECK com vãos de 5 metros entre apoios, com 200m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,



102. Para a MONTAGEM DA ESTRUTURA (placas) E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

103. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

104. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

105. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

106. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *

107. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

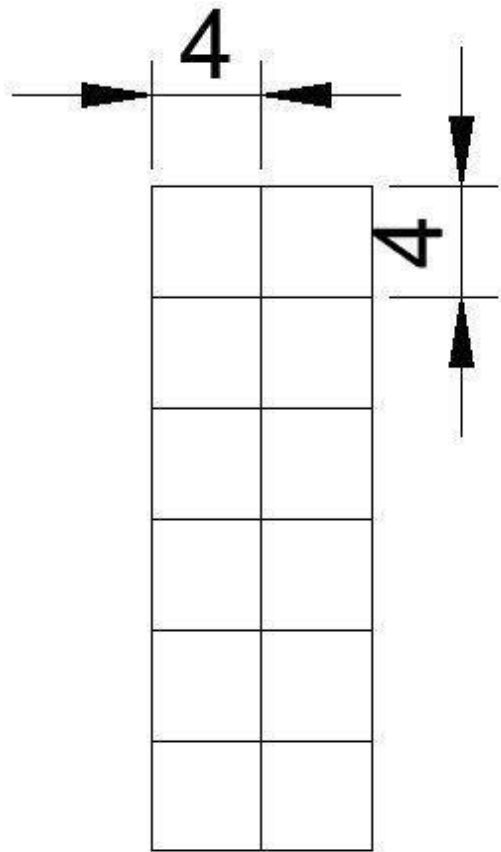
108. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre :

109. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

- ,
- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre :
-

Agora suponha, uma LAJE STEEL DECK com vãos de 4 metros entre apoios, com 192m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,



192 M²

110. Para a MONTAGEM DA ESTRUTURA (placas) E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

111. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

112. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

113. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

114. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão bomba, em dias:*

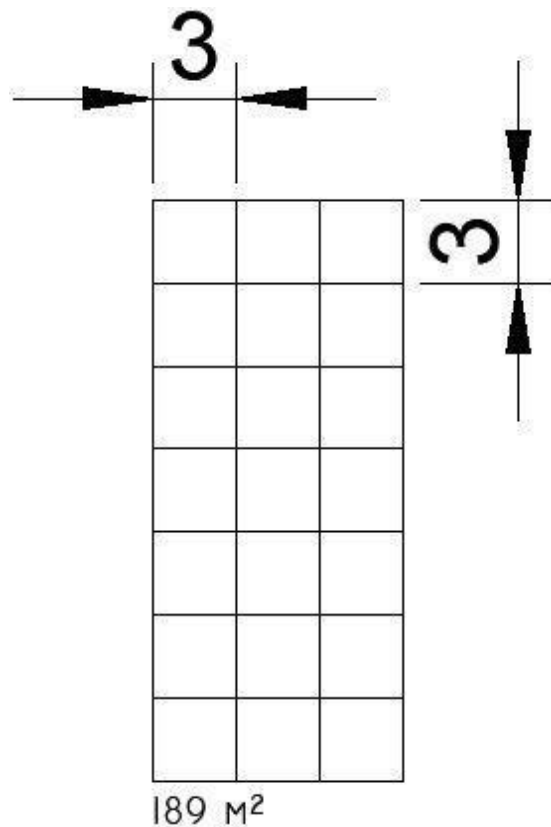
115. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

116. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

117. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre : _____

Agora suponha, uma LAJE STEEL DECK com vãos de 3 metros entre apoios, com 189m² de pavimento, Considere que os apoios (vigas) serão concretados em conjunto com a laje e já estão armadas, Desconsidere o tempo de cura do concreto,



118. Para a MONTAGEM DAS ESTRUTURA (placas) E ESCORAS, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, em dias: *

119. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

120. Para a MONTAGEM DE ARMADURAS, suponha uma duração estimada total, * considerando um cenário mais provável, em dias: *

121. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

122. Para a CONCRETAGEM, suponha uma duração estimada total, considerando um cenário mais provável, considere feita por caminhão-bomba, em dias: *

123. Para essa atividade, quantos trabalhadores você julga necessário? *

124. Considerando um cenário PESSIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo ADICIONAL necessária além do período que inicialmente julga viável para sua conclusão? *

- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre: _____

125. No caso de um cenário OTIMISTA para a execução da laje mencionada anteriormente, qual seria a porcentagem de tempo REDUZIDA em relação ao período inicialmente previsto para sua conclusão? *

- 5%
- 10%
- 20%
- 25%
- 30%
- Autre: _____

MUITO OBRIGADO! (SEÇÃO 7)

Agradeço sua participação e dedicação disponível para a realização desse questionário!

Este conteúdo não foi escrito nem endossado pelo Google,

Google Forms