



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

JOCEMAR SLOBODZIAN

**PLANEJAMENTO BASEADO EM LOCAIS EM OBRAS
NÃO REPETITIVAS COM FOCO NA CRITICALIDADE**

CAMPINAS

2021

JOCEMAR SLOBODZIAN

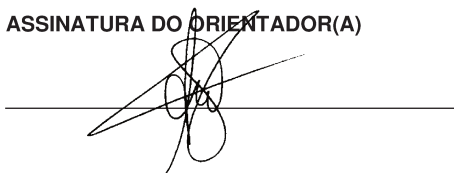
**PLANEJAMENTO BASEADO EM LOCAIS EM OBRAS
NÃO REPETITIVAS COM FOCO NA CRITICALIDADE**

Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Construção.

Orientador: Prof. Dr. Ariovaldo Denis Granja

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO JOCEMAR SLOBODZIAN E ORIENTADO PELO PROF. DR. ARIOVALDO DENIS GRANJA.

ASSINATURA DO ORIENTADOR(A)



CAMPINAS

2021

Ficha catalográfica

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

SL52p Slobodzian, Jocemar, 1984-
Planejamento baseado em locais em obras não repetitivas com foco na
criticalidade / Jocemar Slobodzian. – Campinas, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Ariovaldo Denis Granja.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Planejamento. 2. Métodos de caminho crítico. 3. Produção enxuta. 4.
Construção civil. 5. Planejamento da produção. 6. Empreendimentos. 7.
Edificações. I. Granja, Ariovaldo Denis, 1963-. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Location-based planning in non repetitive projects with a focus on
criticality

Palavras-chave em inglês:

Planning

Critical path method

Lean production

Construction

Production planning

Development

Buildings

Área de concentração: Construção

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora:

Ariovaldo Denis Granja [Orientador]

Flavio Augusto Picchi

José Carlos Paliari

Data de defesa: 22-01-2021

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0001-4252-4132>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/09500003494513157>

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**PLANEJAMENTO BASEADO EM LOCAIS EM OBRAS NÃO
REPETITIVAS COM FOCO NA CRITICALIDADE**

Jocemar Slobodzian

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Ariovaldo Denis Granja
Presidente e Orientador / FEC - UNICAMP

Prof. Dr. José Carlos Paliari
UFSCar

Prof. Dr. Flávio Augusto Picchi
FEC - UNICAMP

A ata de defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação e na Secretaria do Programa da Unidade.

Campinas, 22 de janeiro de 2021.

DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTOS

A dedicatória e agradecimentos principais são para os meus pais Tereza e Miguel Slobodzian que conseguiram proporcionar, para mim e meus irmãos Silmara e Flávio, condições de frequentarmos uma universidade de renome como a UFPR, mesmo com uma origem social tão humilde. Muito mais que isso, eles me fizeram pegar gosto pelos estudos e pelo progresso profissional. Sem ter aprendido com eles questões sobre ética, valores, transparência, humildade e reputação nada disso seria possível. Essa educação recebida encontra-se enraizada na minha personalidade e minha gratidão por eles será eterna.

Um agradecimento especial ao meu orientador Ariovaldo Denis Granja, a quem tenho um profundo respeito e admiração. Foi um grande prazer aprender com ele sobre a *lean construction* e a engenharia no mundo. Todas as nossas reuniões foram concisas, questionadoras e me fizeram enxergar os problemas por outros pontos de vista. Tenho muita gratidão pela oportunidade e ensinamentos.

Agradeço ao Hylton Olivieri por compartilhar seus conhecimentos sobre o LBMS logo no início do mestrado. Agradeço ao professor Luiz Fernando Mählmann Heineck e ao Sérgio Kemmer para os quais pude expor essa pesquisa, ainda em andamento, durante o SIBRAGEC em Londrina e contribuíram com muitos *insights* positivos. Agradeço à Trimble por disponibilizar a licença do *software* Schedule Planner. Agradeço também aos engenheiros e construtoras que disponibilizaram os dados que foram estudados nesta pesquisa.

Agradeço a UNICAMP por proporcionar estrutura e criar um ambiente incentivador. Aos professores Flávio Augusto Picchi, Marina S. de Oliveira Ilha, Patrícia Stella Pucharelli Fontanini, Vanessa Gomes da Silva e Regina C. Ruschel por todo aprendizado. Aos amigos e colegas que fiz na faculdade Ivan Barbosa, Renato Mariz, Fábio Dieguez Barreiro Mafra e aos demais colegas do LAGERCON pelo companherismo. Estendo ainda esse agradecimento aos funcionários da FEC pelo excelente atendimento em todas as demandas.

Agradeço em caráter pessoal a alguns profissionais que estiveram presente ao longo da minha trajetória como engenheiro. Em especial aos profissionais Fabio Luis Garbossa Francisco, Peterson Ridge Kurten Tartari, Carlos Henrique Linhares Makohin, Luciana Negrini e Alessandra Yokota. Aos amigos que pacientemente me apoiaram quando precisei me ausentar em inúmeros eventos sociais em favor desse objetivo maior e por todas as palavras de incentivo que recebi ao longo deste anos. Por fim, agradeço aos cafés arábica do sul de Minas que me ajudaram a ter atenção quando necessário e aos temperanillos espanhóis quando precisei de inspiração.

EPÍGRAFE

*“Ticking away the moments that make up a dull day, you
fritter and waste the hours in an offhand way.
Kicking around on a piece of ground in your home town,
waiting for someone or something to show you the way.”*

Gilmour et al. (1973)

Tradução livre:

“Tiquetaqueando os momentos que tornam um dia
maçante, você esbanja e desperdiça as horas de maneira
improvisada.

Perambulando por aí em sua terra natal, esperando por
alguém ou algo que lhe mostre o caminho.”

RESUMO

O planejamento e controle de obras é um elemento essencial para atingir o sucesso de qualquer projeto. Entre as suas principais técnicas está o Planejamento Baseado de Atividade (PBA) cujo principal método é o *Critical Path Method* (CPM), o qual é bem disseminado no mercado, possui diversos *softwares* que usam seu algoritmo e é bastante útil para planejar obras que envolvam uma sequência de atividades singulares. Outra técnica é o Planejamento Baseado em Locais (PBL) cujo método de destaque mais recente no Brasil é o *Location-Based Management System* (LBMS), cujo foco se direciona para o local de execução das atividades e para o fluxo das equipes através desses locais. Desta forma, o LBMS é capaz de eliminar boa parte dos desperdícios incorporados nos planejamentos baseados no CPM. Ambas as técnicas possuem abordagem diferentes quando tratam da criticalidade em seus cronogramas. A criticalidade trata-se de identificar a sequência de atividades ou tarefas de maior duração e sem folgas em um projeto. Esses conceitos já estão bem consolidados na literatura quanto tratam do PBA. Entretanto, há uma escassez de pesquisas na investigação do comportamento da criticalidade no PBL. A literatura aponta ainda que o PBL possui uma grande vantagem sobre o PBA em especial para obras que possuem atividades, locais ou lotes de trabalho repetitivos. Entretanto, obras que não possuem tais repetições receberam até o momento pouca atenção em termos de pesquisas a respeito da aplicabilidade do PBL. A investigação da criticalidade em um contexto de obras com atividades e locais não repetitivos e obtenção, ou não, de tais benefícios, configura-se aqui uma lacuna do conhecimento. A questão de âmbito geral a ser respondida nesta pesquisa é como identificar a criticalidade de cronogramas produzidos por meio do PBL em um contexto de obras com locais e atividades não repetitivas. E ainda investigar se a adoção do PBL é capaz de promover melhorias do ponto de vista da construção enxuta, quando comparado ao PBA em obras com atividades e locais não repetitivos. Para isso adota-se um estudo de caso aplicado em três obras, a periferia de um edifício comercial, um galpão pré-moldado com várias edificações anexas e uma obra de infraestrutura com elementos estruturais de tamanhos variados. Os resultados dessa pesquisa mostram que, com a adoção do PBL, os cronogramas tornam-se menos complexos, promovem o fluxo contínuo de equipes, conseguem eliminar o uso excessivo de *buffers* e reduzem as interferências causadas por tarefas ocorrerem no mesmo local ao mesmo tempo.

Palavras-chave: Planejamento. LBMS. CPM. *Location-Based Management System*. Construção enxuta. Método do Caminho Crítico. Criticalidade.

ABSTRACT

The construction planning and control is an essential element to achieve the success of any project. Among the main techniques is Activities Based Planning (ABP), which main method is the Critical Path Method (CPM), is widely disseminated in the market, has several softwares that use this algorithm and is very useful for planning constructions that involve a sequence of discrete activities. Another technique is Location-Based Planning (LBP), which a more recent highlight technique in Brazil is the Location-Based Management System (LBMS), which focuses on the place of execution of activities and the flow of crews through these locations. Thus, LBMS is able to eliminate much of the waste embedded in the CPM-based planning. Both techniques have a different approach when dealing with criticality in their schedules. Criticality is about identifying a sequence of activities or tasks of longer duration and without slack in a project. These concepts are already well consolidated in the literature regarding the ABP. However, there is a scarcity of research in the investigation of criticality in LBP. The literature also shows that LBP has a great advantage over ABP in special projects that have repetitive activities, locations or lots of work. However, works that do not have such repetitions received so far little attention in terms of research regarding the applicability of LBP. The investigation of criticality in a context of constructions with non-repetitive activities and places and obtaining, or not, such benefits, which is a knowledge gap. The question to be answered in this research is how to identify a criticality of schedules making use of PBL in a context of non-repetitive activities and locations. And also investigate whether the adoption of LBP is capable of promoting improvements from the point of view of lean construction, when compared to ABP in constructions with non-repetitive activities and locations. A case study applied to three projects is adopted, the common areas of a commercial building, a precast shed with several attached buildings and an infrastructure work with elements of varying sizes. The partial results of this research shows that with the adoption of LBMS the schedules become less complex, facilitate the workflow and help in eliminating constraints. The results of this research show that, with the adoption of LBP, the schedules become less complex, promote the continuous flow of teams, eliminating the excessive use of buffers and reduces the interferences caused by tasks to occur in the same place at the same time.

Keywords: Planning. LBMS. CPM. Location-Based Management System. Lean construction. Critical Path Method. Criticality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: As cinco fases do processo de planejamento.....	25
Figura 2: Tipologia dos métodos de planejamento para projetos de construção.....	29
Figura 3: Gráficos de barras clássicos.....	30
Figura 4: Exemplos da duração estimada em três atividades por meio do PERT	32
Figura 5: Distribuição normal do Desvio Padrão	33
Figura 6: ANS ou MDS.....	34
Figura 7: ANN ou MDP.....	35
Figura 8: Gráfico de Gantt vinculado elaborado no Microsoft Project	35
Figura 9: Processo de planejamento CPM	36
Figura 10: Processos de Escopo do PMBOK.....	37
Figura 11: Exemplo de EAP.....	37
Figura 12: EAP convertida em lista de atividades.....	38
Figura 13: Síndrome do Estudante (esquerda) e a Lei de Parkinson (direita).....	40
Figura 14: Tipos de vínculos entre atividades.....	41
Figura 15: Vínculos de sequência e de trajetória.....	42
Figura 16: Uso de recursos sem nivelamento.....	44
Figura 17: Uso de recursos com nivelamento	45
Figura 18: Cronograma do <i>Empire State Building</i>	48
Figura 19: Linha de Balanço e Linha de Fluxo	49
Figura 20: Processo do LBMS.....	50
Figura 21: Exemplo de ELP	52
Figura 22: Um típico projeto de construção dividido em uma ELP	53
Figura 23: Extração de quantidade por meio de <i>software</i> BIM.....	54
Figura 24: Tempo de recursos alocados em uma tarefa.....	57
Figura 25: Tarefas com variação de quantidades e recursos	59
Figura 26: <i>Layer</i> 1.....	61
Figura 27: <i>Layer</i> 2.....	62
Figura 28: <i>Layer</i> 3.....	62
Figura 29: <i>Layer</i> 4.....	62
Figura 30: <i>Layer</i> 5.....	62
Figura 31: Perdas em tarefas com ritmos diferentes.....	64
Figura 32: Linhas de fluxo com ritmos iguais.....	64

Figura 33: Divisão das tarefas em segmentos menores	67
Figura 34: Tempo ocioso causado pela descontinuidade dos recursos.....	67
Figura 35: Curva de aprendizado.....	72
Figura 36: <i>Workable backlog</i>	74
Figura 37: <i>Buffers</i> no PBL.....	83
Figura 38: Classificação dos projetos repetitivos	84
Figura 39: Protocolo padrão para um estudo de caso	88
Figura 40: Delineamento da pesquisa	91
Figura 41: Resumo do método de pesquisa.....	94
Figura 42: Setorização das áreas não repetitivas do Estudo de Caso Piloto	99
Figura 43: ELP do Estudo de Caso Piloto.....	100
Figura 44: Cronograma das áreas repetitiva PBA (superior) e PBL (inferior)	101
Figura 45: Sequenciamento das atividades do Estudo de Caso Piloto.....	105
Figura 46: Cronograma das áreas não repetitivas em PBA (superior) e PBL (inferior).....	106
Figura 47: Seis tarefas destacadas do caso piloto	107
Figura 48: Setorização do Estudo de Caso 1	109
Figura 49: ELP do Estudo de Caso 1	110
Figura 50: Plano de ataque do Estudo de Caso 1.....	113
Figura 51: Sequenciamento das atividades do Estudo de Caso 1	113
Figura 52: Cronograma do Estudo de Caso 1 em PBA (superior) e PBL (inferior).....	114
Figura 53: Sequenciamento das atividades do Estudo de Caso 2.....	116
Figura 54: Cronograma do Estudo de Caso 2 em PBA (superior) e PBL (inferior).....	118
Figura 55: Criticalidade do cronograma PBL do Estudo de Caso Piloto.....	122
Figura 56: Criticalidade do cronograma PBL do Estudo de Caso 1	124
Figura 57: Criticalidade do cronograma PBL do Estudo de Caso 2.....	127
Figura 58: Síntese dos dados extraídos dos 3 estudos de caso	129
Figura 59: Síntese das criticalidades nos casos estudados	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de restrições de cronogramas	46
Quadro 2: Causas de <i>buffers</i>	71
Quadro 3: Tamanho de <i>buffers</i>	71
Quadro 4: Comparativo entre os métodos de planejamento.....	76
Quadro 5: Principais características do Caminho Crítico	81
Quadro 6: Complexidade de atividades e locais não repetitivos	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Determinação da taxa de produção do Estudo de Caso Piloto.....	103
Tabela 2: Determinação da taxa de produção do Estudo de Caso 1	111
Tabela 3: Quantidade de atividades em cada setor do Estudo de Caso 2	116
Tabela 4: Duração das atividades do cronograma PBA do Estudo de Caso 2	117
Tabela 5: Quantidade de equipes em cada tarefa do Estudo de Caso 2	117

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANN:	Atividade no Nó
ANS:	Atividade na Seta
BIM:	Building Information Modeling
CPM:	Critical Path Method
EAP:	Estrutura Analítica do Projeto
ELP:	Estrutura de Locais do Projeto
EUA:	Estados Unidos da América
Hh	Homem-hora
IGLC:	International Group for Lean Construction
II	Início a Início
ISO:	International Organization for Standardization
IT	Início a Término
LBMS:	Location-Based Management System
LBS:	Location-Based Structure
LDB:	Linha de Balanço
LF:	Linha de Fluxo
LOB:	Lines of Balance
LPS:	Last Planner System
MDP:	Método do Diagrama de Precedência
MDS:	Método do Diagrama de Setas
MIT:	Massachusetts Institute of Technology
PCP:	Planejamento e Controle da Produção
PDCA:	Plan Do Check Act
PMBOK:	Project Management Body of Knowledge
PMI:	Project Management Institute
SINAPI:	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção
Civil	
TCPO:	Tabela de Composições e Preços para Orçamentos
TI	Término a Início
TT	Término a Término

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO	17
1.1	Contexto e motivações da pesquisa.....	17
1.2	Problematização	19
1.3	Questões e objetivos da pesquisa	21
1.4	Delimitações e recorte da pesquisa	21
1.5	Estrutura do trabalho	22
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	Fundamentos básicos do planejamento	23
2.1.1	Dimensão horizontal do planejamento	24
2.1.2	Dimensão vertical do planejamento	26
2.1.3	Métodos de planejamento	28
2.2	Planejamento baseado em atividades	29
2.2.1	Histórico do planejamento baseado em atividades	29
2.2.2	Program Evaluation and Review Technique (PERT)	31
2.2.3	Redes de precedência	33
2.2.4	Gráfico de Gantt.....	35
2.2.5	Estrutura analítica do projeto	36
2.2.6	Definir atividades	38
2.2.7	Estimar duração.....	39
2.2.8	Sequenciamento	41
2.2.9	Recursos.....	43
2.2.10	Otimização do cronograma.....	45
2.3	Planejamento baseado em locais.....	46
2.3.1	Histórico do planejamento baseado em locais.....	46
2.3.2	Estrutura de locais de projeto.....	50
2.3.3	Quantidades baseadas em locais	53
2.3.4	Recursos.....	55
2.3.5	Construção de tarefas	56
2.3.6	Sequenciamento das tarefas	60
2.3.7	Otimização do cronograma.....	63
2.3.7.1	Otimização do ritmo de produção	63
2.3.7.2	Otimização da sequência de produção	65

2.3.7.3 Dividindo tarefas	66
2.3.7.4 Quebra da continuidade da tarefa.....	67
2.3.8 Riscos e <i>Buffers</i>	68
2.3.9 Curva de aprendizado.....	72
2.3.10 Workable backlog	73
2.3.11 Checagem da viabilidade do cronograma.....	75
2.4 Comparativo entre os métodos de planejamento	76
2.5 Criticalidade.....	80
2.6 Obras com locais e atividades não repetitivas	83
3 MÉTODO	86
3.1 Definição do método	86
3.2 Protocolo.....	88
3.3 Planejamento da pesquisa.....	89
3.4 Replanejamento da pesquisa.....	92
3.5 Conceitos de obras não repetitivas e criticalidade para aplicação do método.....	95
4 ESTUDOS DE CASO.....	97
4.1 Estudo de Caso Piloto	97
4.1.1 Identificação da obra	97
4.1.2 Coleta de dados e aplicação do PBL	98
4.1.3 Análise dos resultados do Caso Piloto	106
4.2 Estudo de Caso 1	107
4.2.1 Identificação da obra	108
4.2.2 Coleta de dados e aplicação do PBL no Estudo de Caso 1.....	108
4.2.3 Análise dos resultados do Estudo de Caso 1	112
4.3 Estudo de Caso 2.....	115
4.3.1 Identificação da obra	115
4.3.2 Coleta de dados e aplicação do PBL no Estudo de Caso 2.....	115
4.3.3 Análise dos resultados do Estudo de Caso 1	119
4.4 Criticalidade nos casos estudados	119
4.4.1 Criticalidade no estudo de caso piloto.....	119
4.4.2 Criticalidade no estudo de caso 1.....	123
4.4.3 Criticalidade no estudo de caso 2.....	126
4.5 Síntese dos resultados.....	128
5 CONCLUSÕES	134

5.1 Respostas para as questões de pesquisa	134
5.2 Limitações do desenvolvimento da pesquisa.....	136
5.3 Sugestões para estudos futuros	137
REFERÊNCIAS.....	138
APÊNDICE A	152
APÊNDICE B.....	155

1 INTRODUÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO

Este capítulo apresenta as motivações que levaram à escolha do tema, problematização, objetivos e questões da pesquisa. A forma como a pesquisa está estruturada também é apresentada.

1.1 Contexto e motivações da pesquisa

O Planejamento e Controle da Produção (PCP) tem sido amplamente discutido e aperfeiçoado tanto no meio acadêmico quanto na prática (BERNARDES, 2001; COELHO, 2003). Entretanto, a ausência de planejamento, ou um planejamento ineficaz, ainda é uma das principais causas de desvios de prazo em construções (ALENCAR; CÂNDIDO, 2017; FILIPPI; MELHADO, 2015; MUIANGA; GRANJA; RUIZ, 2015). O planejamento da construção pode ser mais eficaz se existir maior esforço na etapa de preparação. Um detalhamento maior pode auxiliar na implantação de algumas técnicas e na geração de indicadores, os quais aumentariam a eficiência da produção (BULHÕES; FORMOSO; AVELLAN, 2003).

Engenheiros, em vários lugares do mundo, depararam-se com dificuldades similares às encontradas no cenário nacional. Uma delas está na relação entre gerentes e subcontratados, em que o gestor promove exigências quanto à redução do prazo e privilegia o início o mais cedo possível de cada atividade. Em contrapartida, as subcontratadas aumentam tardiamente o tamanho necessário da equipe (FREEMAN; SEPPÄNEN, 2014), ou ainda há aqueles que trabalham apenas em função de pleitos contratuais (SACKS; HAREL, 2006). Outra dificuldade está na elaboração de cronogramas que são produzidos somente com base na experiência do gestor (O'BRIEN; PLOTNICK, 2015) ou ainda situações nas quais cronogramas enormes são utilizados apenas com “propósitos decorativos” no escritório da obra (KENLEY, 2004).

O acesso à informação para o planejamento de obras é dominado pelo *Project Management* (Gerenciamento de Projetos), o qual trata uma construção como um projeto. Por definição, um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto ou resultado único (PMI, 2017). Essa definição bastante ampla faz com que a construção civil utilize os mesmos conceitos e ferramentas de planejamento que são aplicadas também em projetos como desenvolvimento de *softwares*, campanhas de *marketing* ou desenvolvimento de um novo produto farmacêutico. O planejamento elaborado nas premissas do Gerenciamento de Projetos são caracterizados por focar nas durações de cada atividade para obter uma menor duração do projeto (KIM; BALLARD, 2010). Contrapondo a essa vertente, o *Lean Construction*

(Construção Enxuta) surge com uma abordagem alternativa, tratando-se de uma filosofia adaptada da manufatura automobilística para a indústria da construção civil (KOSKELA, 1992). Um planejamento *lean* foca na obtenção de fluxo contínuo¹ de recursos, estabilização da produção e em agregar valor por meio de uma produção puxada (BALLARD, 2000; SEPPÄNEN; MODRICH; BALLARD, 2015). Entretanto, a construção é um meio de produção complexo e mais sujeita à variabilidade e a falta de estabilidade, o que dificulta a adoção pura dos conceitos *lean* da manufatura (BERTELSEN; KOSKELA, 2004; SAURIN, 2017). A complexidade de uma construção em parte é causada por um planejamento inadequado. A complexidade trata-se apenas de um problema matemático e, portanto, a solução também deve ser matemática (KENLEY, 2005). Essa afirmação reforça ainda mais a necessidade de um planejamento adequado com o objetivo de resolver a complexidade.

Na literatura é possível encontrar duas categorias principais para planejamento de obras, Planejamento Baseado em Atividades (PBA) e Planejamento Baseado em Locais (PBL) (KENLEY; SEPPÄNEN, 2009). A primeira, baseada em atividades, é o *Critical Path Method* (CPM) ou Método do Caminho Crítico. Trata-se de uma abordagem de desenvolvimento de cronograma, a qual faz o sequenciamento das atividades em um determinado projeto (O'BRIEN; PLOTNICK, 2015). Ele pode ser entendido como uma extensão do gráfico do Gantt para o cálculo matemático da menor duração possível (HENRICH; TILLEY; KOSKELA, 2005). O CPM é tido como uma das peças centrais do *Project Management* (HOWELL; KOSKELA, 2000) e possui uma difusão no meio profissional tão ampla que costuma ser chamado de método tradicional de planejamento (OLIVIERI; GRANJA; PICCHI, 2016). A segunda técnica, baseada em locais, é o *Location-Based Management System* (LBMS), que se trata de uma técnica relativamente nova, mas que reúne elementos de ferramentas conhecidas, tais como a Linha de Balanço (LDB²) (KENLEY; SEPPANEN, 2010). O LBMS parte da suposição de que é possível agregar valor ao dividir o projeto em locais menores e usá-los para planejar, analisar e controlar o trabalho e possibilitar o seu fluxo através destes locais (KENLEY; SEPPANEN, 2010; VARGAS; FORMOSO, 2020). Em geral, pesquisadores da área do *Project Management* focam suas pesquisas no CPM e pesquisadores adeptos do *Lean Construction* procuram aprimorar o uso do LBMS. Essa dicotomia entre esses métodos é a principal motivação desta pesquisa, pois deixa um grande campo para aprimoramento do tema.

¹ Para essa dissertação optou-se pelo termo fluxo contínuo, entretanto, muitos autores referem-se a esse ele como fluxo ininterrupto.

² É comum encontrar em pesquisas, tanto internacionais como nacionais, a abreviatura LOB como referência ao nome em inglês Lines Of Balance, para essa pesquisa optou-se pela versão traduzida.

1.2 Problematização

A escolha entre elaborar o planejamento baseado em atividades ou baseado em locais não constitui uma tarefa simples, pois depende muito das características e objetivos de cada obra. Se o objetivo do projeto for proporcionar a menor duração possível, e não houver a exigência dos recursos trabalharem continuamente, o planejamento tradicional, ou baseado em atividades, preenche os atributos necessários (KENLEY; SEPPANEN, 2010). Todavia, uma obra dificilmente possui recursos em excesso, ao mesmo tempo em que o equilíbrio entre duração total e a continuidade do trabalho dos recursos é necessário. O planejamento baseado em locais pode proporcionar essa continuidade (KENLEY; SEPPANEN, 2010). Diversos autores afirmam que o fluxo de trabalho dos recursos tem uma melhora significativa ao utilizar um método baseado em locais quando comparado aos métodos tradicionais (ANDERSSON; CHRISTENSEN, 2007; KALA; MOUFLARD; SEPPÄNEN, 2012; KANKAINEN; SEPPÄNEN, 2003; OLIVIERI; SEPPÄNEN; GRANJA, 2018).

A escolha do método de planejamento depende das características do projeto e também inclui o grau de repetitividade de atividades e de locais. Obras repetitivas podem ser edifícios com múltiplos pavimentos, condomínios horizontais, rodovias, obras de infraestrutura, linhas de transmissão, rede de abastecimento de água, entre outras. Elas são caracterizadas por possuir quantidade de trabalho ou complexidades semelhantes entre os pacotes ou estações de trabalho (ARDITI; TOKDEMIR; SUH, 2001a). Quando submetidas ao método tradicional, o planejamento de obras repetitivas pode resultar em cronogramas com uma grande rede de trabalho, difícil de gerenciar (ARDITI; SIKANGWAN; TOKDEMIR, 2002), entretanto, elas apresentam oportunidades de melhoria se forem planejadas utilizando um gerenciamento baseado em locais (LUCKO; ALVES; ANGELIM, 2014). Uma das vantagens que uma obra repetitiva possui é a obtenção de ritmo e sincronia entre os trabalhos das equipes. Um planejamento adequado faz com que equipes não fiquem ociosas, aguardando o trabalho ser liberado, e as estações de trabalho não fiquem vazias aguardando uma equipe iniciar a sua tarefa, o que caracteriza um desperdício do ponto de vista da construção enxuta (KENLEY; SEPPANEN, 2010; KOSKELA; BØLVIKEN; ROOKE, 2013; OHNO, 1988). O PBL proporciona uma visualização mais clara destes ritmos o que facilita a decisão de acelerar ou desacelerar uma tarefa. Entretanto, se um ritmo não for imposto às tarefas, o uso do PBL perde muito de sua eficácia (KENLEY; SEPPANEN, 2010). Diversas pesquisas investigaram a melhoria no ritmo e sincronia em obras com características repetitivas, por meio de cronogramas baseados em locais (MENDEZ; HEINECK, 1998; SEPPÄNEN, 2014).

Por outro lado, a aplicação de planejamento baseado em locais em obras com atividades ou locais não repetitivos ainda é escassa na literatura. Por exemplo, Linnik, Berghede e Ballard (2013) fazem uso de um planejamento baseado em locais para uma obra não repetitiva e afirmam que é viável e vantajoso, entretanto, recomendam futuras pesquisas com experimentos mais rigorosos para avaliar o impacto nas durações e produtividade da mão de obra. Adicionalmente, Valente et al (2014) desenvolveram diretrizes para o uso de LDB nas áreas sem repetitividade de um edifício, e afirmam que o plano traz mais transparência para empregados e engenheiros, melhora o controle e diminui a alocação de equipes de trabalho. Obras não repetitivas precisam ter um formato de planejamento mais colaborativo, faz-se necessário um melhor detalhamento do trabalho pela dificuldade das equipes estimarem a velocidade de produção (TOMMELEIN, 2017). O PBL é uma abordagem que ajuda a remover a complexidade de obras não repetitivas, entretanto ainda existem questões que necessitam de respostas para o avanço do conhecimento científico nesta temática, tais como, qual é a melhor maneira de dividir os locais de trabalho em situações de não repetitividade e como levar em consideração a interdependência entre os locais, alocação, fluxo e variabilidade dos recursos (MURGUIA; URBINA, 2018). Os mesmos procedimentos do PBL de obras repetitivas podem ser aplicados em obras não repetitivas (SLOBODZIAN; GRANJA, 2019).

Uma outra necessidade de esclarecimento científico é a de que o PBA e o PBL possuem abordagens diferentes ao tratar da criticalidade do planejamento. No PBA, a criticalidade é percebida por meio do caminho crítico, o qual trata-se da maior sequência de atividades de um cronograma e que não tenham nenhuma folga (O'BRIEN; PLOTNICK, 2015). Atividades que não estão no caminho crítico, mas possuem pouca folga, estão sujeitas ao risco de se tornarem críticas ao longo da obra. A criticalidade de cronogramas no PBA já foi amplamente estudada academicamente com a aplicação de métodos probabilísticos com o objetivo de elaborar um *ranking* com as atividades mais críticas (AMMAR; ABD-ELKHALEK, 2019; LUCKO; THOMPSON; SU, 2016; TARGIEL; NOWAK; TRZASKALIK, 2018). Ao contrário do PBA, existem poucas pesquisas sobre a criticalidade em cronogramas no PBL. No PBL a tarefa mais crítica é a que tem a menor taxa de produtividade, pois ela transmite essa taxa para as tarefas sucessoras (BÜCHMANN-SLORUP; ANDERSSON; FUHR PEDERSEN, 2012). Uma tarefa é tida como crítica se ela não tiver condições de obter fluxo contínuo (KENLEY; SEPPANEN, 2010). A ausência de uma definição mais precisa é um indicador de que a criticalidade no PBL merece um aprofundamento de análise.

A criticalidade em cronogramas no PBL em obras com atividades e locais não repetitivos consiste em uma lacuna no conhecimento, a qual essa dissertação almeja preenchê-la.

1.3 Questões e objetivos da pesquisa

Diante do problema e da lacuna do conhecimento apontada, a seguinte questão de pesquisa é proposta para essa dissertação: **Como identificar a criticalidade de cronogramas produzidos por meio do PBL em um contexto de obras com locais e atividades não repetitivas?** Decorrente desta questão mais ampla, a pesquisa também almeja identificar que particularidades existem e quais são as recomendações para o planejamento de obras baseado em locais, para o contexto específico de obras caracterizadas por locais e atividades não repetitivas?

A partir dessa questão, o objetivo geral da pesquisa é determinado: Analisar o PBL em obras da construção civil com foco específico em atividades e locais não repetitivos, bem como elucidar aspectos específicos de criticalidade neste contexto. E como objetivo específico, a pesquisa procura:

- (i) Investigar se a adoção do PBL é capaz de promover melhorias do ponto de vista da construção enxuta, como fluxo contínuo de equipes, a redução de *buffers* e a redução de interferências causadas por tarefas executadas no mesmo local ao mesmo tempo, quando comparado ao PBA em obras com atividades e locais não repetitivos.
- (ii) Identificar os benefícios e barreiras da aplicação do PBL quando comparado com o PBA.

1.4 Delimitações e recorte da pesquisa

Essa pesquisa está delimitada ao planejamento de tempo e, portanto, aspectos relacionados às outras áreas como custos e qualidade podem ser comentados de passagem, porém, não são o foco desta pesquisa. Essa pesquisa também se limita à elaboração do plano mestre inicial e de longo prazo, exclui-se, portanto, os tratamentos de médio e curto prazo. O foco principal está na fase planejamento, e os processos de controle e retroalimentação para o replanejamento durante a execução também ficam de fora desta pesquisa.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo faz uma introdução ao tema, onde são apresentados o contexto e motivações da pesquisa, a problematização e lacunas no conhecimento, bem como as questões e objetivos da pesquisa.

O capítulo 2 apresenta a revisão de literatura. Neste se faz um aprofundamento do tema, são exibidas as origens e procedimentos do PBA e do PBL, bem como as vantagens e desvantagens de cada um. A forma como a criticalidade é tratada em cada um é explorada. A complexidade de obras repetitivas e não repetitivas também é caracterizada.

O capítulo 3 descreve o Estudo de Caso como método de pesquisa utilizado. Nele, é esclarecido o motivo da escolha do método, qual o protocolo seguido e o delineamento da pesquisa. As fontes documentais, os *softwares* utilizados e como esses dados foram investigados também são descritos.

O capítulo 4 é dividido em cinco partes. As três primeiras apresentam e discutem os três estudos de caso separadamente. A quarta parte faz uma discussão sobre a criticalidade de cada caso e na última é apresentada uma sintetização dos resultados.

O capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas. As respostas para as questões de pesquisa são apresentadas bem como recomendações para pesquisas futuras.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo mostra inicialmente os fundamentos básicos do planejamento de obras e como ele é dividido entre o método baseado em atividade e em locais. Ambos os métodos são explorados com profundidade e então comparados, enfatizando-se as suas respectivas vantagens e desvantagens. Ao final deste capítulo, as obras com locais e atividades não repetitivas são caracterizadas.

2.1 Fundamentos básicos do planejamento

As definições de planejamento variam desde um rígido modelo matemático até uma ação cognitiva quase involuntária, com um longo gradiente entre ambos extremos. Planejamento é uma das funções do gerente a qual envolve a seleção entre diferentes objetivos, políticas, procedimentos e programas, e essas decisões afetam o curso de uma empresa, departamento ou projeto (KOONTZ; O'DONNELL, 1959). O planejamento também pode ser definido como o conhecimento aplicado para promover a ação (FRIEDMANN, 1987; SANYAL, 2018), já para Fayol (2018) planejamento não antecede a ação, porque já constitui o início da ação (FAYOL, 2018; SILVA, 1960). Fayol (2018) conceitua ainda o planejamento como o delineamento do plano de ação, ou seja, o resultado previsto na linha de ação a ser seguida, as etapas a serem percorridas e os métodos a serem usados. O ato de planejar é selecionar e relacionar fatos, fazer e usar suposições sobre o futuro na visualização e a formalização das atividades propostas consideradas necessárias para alcançar os resultados desejados (TERRY, 1982). Planejar é ainda uma ação que incorpora as habilidades de antecipar, influenciar e controlar a natureza e a direção das mudanças (MCFARLAND, 1974).

Autores da área da construção civil descrevem os conceitos de planejamento muito similares aos autores da área da administração citados. O planejamento é o desenho de um futuro desejado e das formas eficazes de realizá-lo (ACKOFF, 1970; BERNARDES, 2001; FORMOSO, 1991). Planejamento é a definição de critérios para o sucesso e a produção de estratégia para atingir os objetivos (BALLARD, 2000). Planejamento é um processo de tomada de decisão que envolve o estabelecimento de metas e dos procedimentos necessários para atingi-las, sendo efetivo somente quando seguido de um controle (BERNARDES, 2001; FORMOSO, 1991). Em linhas gerais, um planejamento deve responder as seguintes perguntas (LAUFER; TUCKER, 1987):

- (i) **O que** deve ser feito? (atividades)

- (ii) **Como** as atividades devem ser realizadas? (método construtivo)
- (iii) **Quem** deve realizar cada atividade e através de que meios? (recursos)
- (iv) **Quando** as atividades devem ser realizadas? (sequência e duração)

Um projeto de construção possui algumas particularidades quando comparado às atividades de outros setores industriais. Na indústria automobilística, por exemplo, o trabalho se direciona ao recurso em uma linha de produção, já na construção os recursos devem deslocar-se até a estação de trabalho. Portanto, outra pergunta pode ser acrescentada à lista de Laufer e Tucker é “**onde**” a atividade deve ser realizada (KENLEY; SEPPANEN, 2010).

O planejamento permite que o gerente possa executar o trabalho, direcionar e coordenar as partes sob sua supervisão. Ele auxilia na comunicação com as partes interessadas no projeto, incluindo a equipe, cliente, investidores, projetistas (LAUFER; TUCKER, 1987). Adicionalmente, Mubarak (2015) afirma que o planejamento permite realizar previsões, determinar a data de conclusão do projeto ou de atividades específicas, melhorar a eficiência da produção, avaliar o efeito das mudanças, e atribuir a causa de eventuais atrasos.

Uma das funções principais do planejamento é permitir o controle. O controle da produção têm o objetivo de assegurar que o plano será seguido e retroalimentar o plano com dados de andamento. O plano, por sua vez, é repensado, ações corretivas são geradas, e assim gera-se o ciclo básico do PCP. Para Urwick (1954) um plano ideal deve possuir as seguintes características;

- (i) O plano deve basear-se em objetivos bem definidos.
- (ii) O plano deve ser simples e claro para entender.
- (iii) O plano deve prever uma análise adequada.
- (iv) O plano deve ser flexível, de modo a incorporar as mudanças necessárias para torná-lo mais eficaz.
- (v) O plano deve ser equilibrado (ou seja, deve abranger todos os segmentos e deve alocar os recursos de tal forma que a harmonia seja mantida em toda a organização, sem dar preferência indevida a certos departamentos).
- (vi) O plano deve fazer o melhor uso possível dos recursos disponíveis.

2.1.1 Dimensão horizontal do planejamento

O planejamento na construção pode ser dividido em duas dimensões, uma vertical e outra horizontal (LAUFER; TUCKER, 1987). A dimensão horizontal relaciona-se com o ciclo formado pelos processos necessários para efetuar o planejamento (Figura 1).

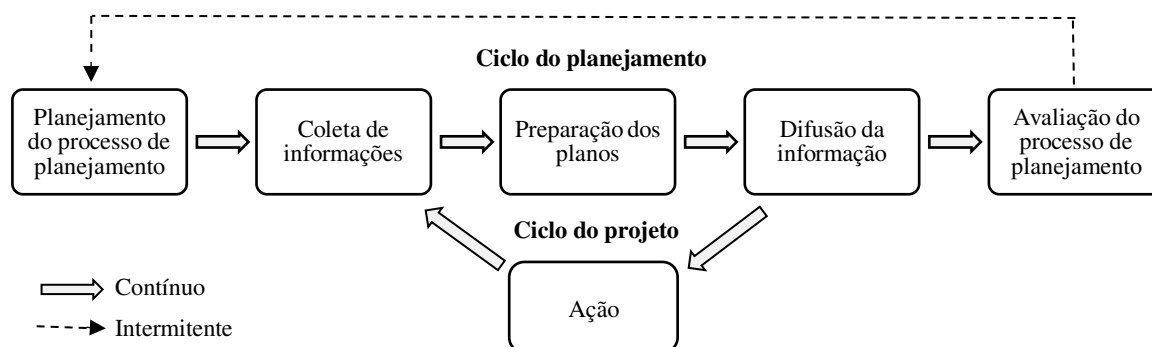


Figura 1: As cinco fases do processo de planejamento

Fonte: Laufer e Tucker (1987)

Os processos relacionados ao projeto são cíclicos e contínuos durante toda a vida do projeto. Informações são coletadas, os planos são elaborados, as informações são transmitidas e, após as ações implantadas, o ciclo se reinicia com uma nova coleta de dados para o replanejamento (LAUFER; TUCKER, 1987). Esse ciclo demonstra uma das funções do planejamento que é tornar evidente eventuais problemas futuros. Essa retroalimentação é essencial para a melhoria do processo de planejamento, muito similar ao PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) empregado na área de qualidade (DEMING, 1986; SEPPÄNEN; MODRICH; BALLARD, 2015).

O ciclo do planejamento funciona em caráter intermitente e inclui dois processos adicionais. Os cinco processos são explorados a seguir (BERNARDES, 2001; LAUFER; TUCKER, 1987):

- (i) **Planejamento dos processos de planejamento:** Nessa fase é definido como o planejamento será elaborado, o grau de detalhamento necessário em cada fase seguinte, quem deve receber as informações e em que periodicidade, quais as métricas de aceitação, frequência de atualização, qual esforço e tempo dedicado para as próximas fases do planejamento. Empresas consolidadas já possuem procedimentos próprios para essa elaboração, entretanto, cada obra deve ser analisada individualmente, levando-se em conta suas particularidades ambientais, tecnológicas e organizacionais;
- (ii) **Coleta de Informações:** São reunidas informações provenientes das documentações da construção, contratos, projetos, especificações, tecnologia construtiva. Informações sobre os recursos internos e externos necessários, bem como a produtividade de mão de obra e equipamentos. Inclui também restrições

relacionadas ao controle de qualidade, financeiro, legislações, demandas do cliente. Se a fonte de informações for proveniente do processo de ação, deve haver um foco maior nas informações do consumo de recursos e metas atingidas;

- (iii) **Preparação dos planos:** Com base nas informações coletadas, o plano é elaborado utilizando-se métodos como o CPM ou o LBMS. Esses métodos serão aprofundados ao longo dessa dissertação;
- (iv) **Difusão da Informação:** Nessa fase, as atividades planejadas são enviadas para a execução. As informações devem estar completas e serem suficientes para o desenvolvimento para o trabalho. Informações em demasia podem ser tão prejudiciais quanto informação insuficientes. Na prática, se esse processo não for bem estabelecido haverá uma série de adaptações informais em campo, as quais podem afetar o plano inicial;
- (v) **Avaliação do processo de planejamento:** Esse último processo é intermitente; ele ocorre geralmente ao final da construção. O processo de planejamento é analisado de forma crítica e comparado aos objetivos iniciais. As lições aprendidas com o planejamento podem ser aproveitadas pela empresa para melhorar os processos das obras posteriores.

2.1.2 Dimensão vertical do planejamento

O planejamento também é dividido em uma hierarquia vertical. Cada nível está relacionado a um período específico, com objetivos e necessidades de decisões diferentes. Tanto na manufatura quanto na construção, é comum se encontrar esses níveis classificados em planejamento estratégico (longo prazo), tático (médio prazo) e operacional (curto prazo) (HOPP; SPEARMAN, 2008; FORMOSO et al., 1999).

Esses níveis hierárquicos podem ser exemplificados através do *Last Planner System* (LPS). O LPS é um sistema que incorpora vários aspectos do PCP, incluindo também o planejamento. O processo de planejamento dentro LPS possui uma hierarquia de acordo com o grau de detalhamento e necessidade em cada fase da construção (BALLARD, 1997, 2000; BALLARD; HOWELL, 2003):

- (i) **Planejamento de longo prazo ou plano mestre:** Ele consiste no desenvolvimento de um plano geral com a definição dos pacotes de trabalho necessários para atingir o objetivo do projeto, bem como o sequenciamento e durações previstas. Neste nível de planejamento deve ser analisada a demanda e quantidade de trabalho, a

capacidade de produção, principais restrições (inclui restrições técnicas, de prazo, financeiras ou relacionadas aos recursos empregados), acordos de fornecimento pré-definidos, decisões de fazer ou terceirizar, entre outros elementos, todos com detalhamento em nível macro. Pode incluir também datas marco de início e fim dos principais serviços, ritmos de produção e plano de ataque da obra;

- (ii) **Planejamento de médio prazo:** Esse nível de planejamento não significa simplesmente um recorte do plano mestre, mas contempla um detalhamento muito mais apurado dos serviços que devem ser desempenhados a médio prazo. Um esforço maior é concentrado nos serviços a serem realizados em uma janela geralmente de 3 semanas a 3 meses, mas não restrito a esse período, com o objetivo principal de remover as restrições para que o serviço inicie e possa fluir sem interrupções. Nessa etapa o planejamento é otimizado e atividades que não agregam valor são reduzidas ou eliminadas;
- (iii) **Planejamento de curto prazo:** Os serviços em que as restrições foram eliminadas no planejamento de médio prazo são transmitidos para o nível operacional. Trata-se de um acordo colaborativo com o último elo da cadeia produtiva. Esse planejamento é fruto de reuniões, geralmente semanais, onde o mestre de obras ou líder de equipe se compromete a executar os trabalhos planejados. Essas reuniões levam em conta os requisitos de qualidade, segurança, logístico para realização, bem como os critérios de aceitação do trabalho concluído. As informações da produção da semana, ou reunião anterior, retroalimentam a revisão dos planos seguintes.

O LPS é uma ferramenta social para realização das metas planejadas e traz muitos benefícios para a realização de controle, entretanto, esses aspectos não fazem parte do escopo desta pesquisa e, portanto, não serão aprofundados.

Laufer e Tucker (1988) concluem que um planejamento extremamente detalhado adiciona custos de produção e monitoramento, dificulta uma visão clara do projeto e é geralmente inútil, devido a incertezas que não podem ser quantificadas logo no início. Por isso, estes autores recomendam que o planejamento inicial possua um baixo grau de detalhes. Eles acrescentam ainda que, desta forma, evitam-se problemas decorrentes de mudanças, responsáveis por tornar plano obsoleto em pouco tempo. Por outro lado, alguns pesquisadores defendem que os planos podem ser concebidos bem detalhados desde o início, tendo em vista a divisão da obra em locais com o devido nível de detalhamento que o controle exige

(SEPPÄNEN; MODRICH; BALLARD, 2015). Além do mais, a ausência de planejamento ou a formulação de planos pouco efetivos pode encarecer muito mais o projeto (ACKOFF, 1970).

2.1.3 Métodos de planejamento

O método³ de planejamento é um sistema de práticas, técnicas, procedimentos e regras usadas para formular o planejamento (PMI, 2011). Diversos *softwares* foram desenvolvidos usando algoritmos que reúnem essas técnicas, entre eles os mais populares o Microsoft Project e o Primavera. É comum no ambiente profissional confundir o planejamento em si com a ação de elaborar de um cronograma por meio de um *software*. Entretanto, os conceitos desses métodos vão muito além do que os *softwares* oferecem.

Diversos pesquisadores classificam os métodos de planejamento em duas grandes categorias (Figura 2): planejamento baseado em atividade (PBA) e o baseado em locais (PBL) (BÜCHMANN-SLORUP; ANDERSSON; FUHR PEDERSEN, 2012; KENLEY, 2004; KENLEY; SEPPÄNEN, 2010; KENLEY; SEPPÄNEN, 2009; OLIVIERI; GRANJA; PICCHI, 2016, 2016). A principal diferença entre ambos está na forma como o projeto de construção é abordado. O planejamento baseado em atividades, também chamado de método tradicional, utiliza a decomposição do projeto em pacotes de entrega ou atividades (nos moldes da Estrutura Analítica do Projeto, EAP). O planejamento baseado em locais utiliza a decomposição do empreendimento em locais ou unidades de produção (chamada de Estrutura de Locais do Projeto, ELP).

Essas duas abordagens interferem diretamente na diagramação dos cronogramas. O diagrama resultante do planejamento baseado em atividades apresenta uma lista dos pacotes de entrega dispostos pelo tempo, geralmente no formato de um gráfico de barras ou um diagrama de precedências. Entre os métodos que representam essa abordagem estão o CPM e o PERT. Já no planejamento baseado em locais, o diagrama apresenta as tarefas⁴ que fluem de local para local ao longo do tempo. As Linhas de Balanço (LDB) e o LBMS são representantes desse

³ Alguns autores referem-se ao método de planejamento usando palavras como uma simples ferramenta, procedimento, processo ou algoritmo. Entretanto, para essa dissertação foi escolhida referência de palavra método para justamente dar um peso maior ao seu significado e ao conjunto de protocolos que cada tipo deve seguir.

⁴ No planejamento baseado em locais, a palavra *atividade* significa uma ação de trabalho em um local específico, já a palavra *tarefa* é a agregação de várias *atividades* em múltiplos locais as quais avançam como um feixe único, ou seja *atividades* são considerados pequenas partes dentro da *tarefa* (KENLEY; SEPPÄNEN, 2009). No planejamento baseado em atividades, é comum a literatura fazer referência do contrário, onde a *atividade* é o conjunto de *tarefas*. Nos termos dessa dissertação, *atividade* está para o planejamento baseado em atividades assim como a *tarefa* está para o planejamento baseado em locais.

método de planejamento. Nas próximas seções, ambos os métodos estão individualmente apresentados e na sequência comparados.

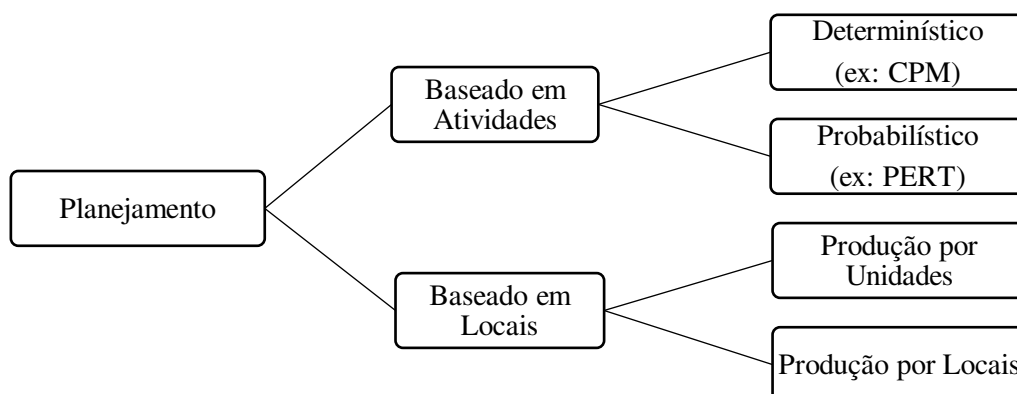


Figura 2: Tipologia dos métodos de planejamento para projetos de construção

Fonte: Kenley e Seppänen (2009)

2.2 Planejamento baseado em atividades

2.2.1 Histórico do planejamento baseado em atividades

Junto com a ciência moderna também surgiu o registro dos primeiros gráficos cartesianos, os quais reproduzem o cruzamento de duas ou mais variáveis de forma lúdica e didática. Um destaque especial é dado a Joseph Priestley e William Playfair considerados os primeiros a conceber e publicar diferentes tipos de gráficos no formato de barras horizontais, representando acontecimentos, em uma escala de tempo. Gráficos modernos são quase idênticos àqueles publicados por eles (SPENCE, 2006). A Figura 3 exemplifica um gráfico de cada autor. Na esquerda o *Chart of Biography* de Joseph Priestley mostra uma relação de diversas personalidades, desde guerreiros até cientistas, e o período de tempo em que viveram desde 1200AC até 1800DC (PRIESTLEY, 1764). E na direita o *Chart of Universal Commercial of History* de William Playfair onde é mostrada a comparação de produtos importados e exportados em diferentes países em uma linha de tempo (PLAYFAIR, 1801). A contribuição que os gráficos de Priestley e Playfair trouxeram para a formatos atuais é inegável (SPENCE, 2005; SYMANZIK; FISCHETTI; SPENCE, 2009).

Mas foi durante a revolução industrial no século XIX que surgiram as maiores inovações quanto ao gerenciamento da produção. O gráfico de barras ficou popular para os meios produtivos com publicações de Frederick Winslow Taylor e posteriormente Henry Laurence Gantt (O'BRIEN; PLOTNICK, 2015). Inspirado no trabalho de otimização da produção de Taylor, e nas representações gráficas de Playfair, Henry Gantt desenvolveu

ferramentas para a organização do trabalho. O trabalho de Gantt foca em comparar o trabalho planejado com o trabalho realizado fazendo o uso de gráficos de barras. Esses gráficos não eram apenas uma representação do passado, mas uma forma de se fazer uma previsão da produção futura com base na produção já realizada (CLARK, 1923; WEAVER, 2006, 2007a, 2012). Gantt nunca clamou para si a autoria da representação gráfica com barras, mas seu trabalho teve um alcance tão grande que o gráfico de barras, tal como é chamado até hoje, por gráfico de Gantt (CLARK, 1923; WEAVER, 2006, 2014). Mesmo na época de Gantt, muitas empresas desenvolviam seus cronogramas e eram apresentados em um formato muito elegante, ao menos assim pareciam no papel, mas os meios de verificar o quanto o cronograma é realista ainda era um desafio (CLARK, 1923; GANTT, 1919).

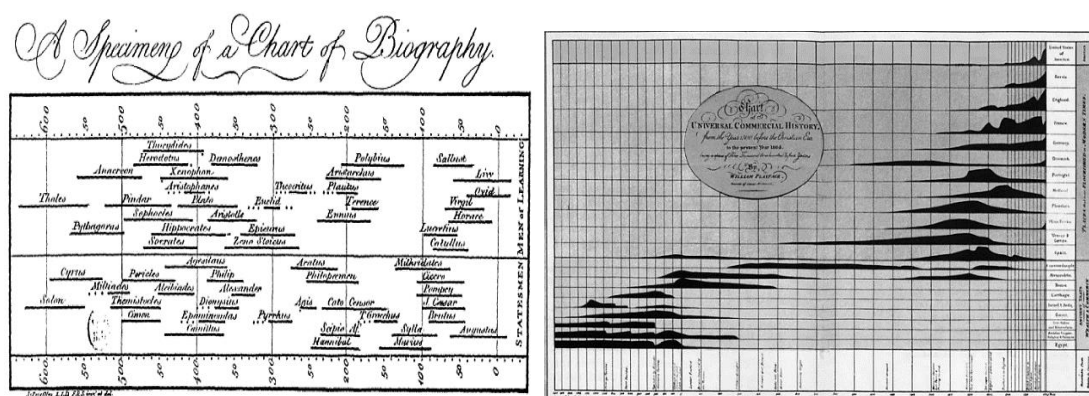


Figura 3: Gráficos de barras clássicos

Fonte: Priestley (1764) e Playfair (1801)

O termo *Critical Path Method* foi citado pela primeira vez no trabalho seminal de James E. Kelley Jr e Morgan R. Walker em 1959 (MERCIER; NUNALLY, 1965). Esse artigo é fruto de um grupo de estudo que investigou a aplicação de computadores no auxílio de solução de complexidades em projetos de engenharia dentro da empresa Dupont de Nemours & Co (KELLEY; WALKER, 1959). Grandes avanços ocorreram na teoria do planejamento graças a esse grupo de estudos nos anos que precederam esse trabalho. Entre as contribuições está a diagramação de todas as atividades que compõem o projeto, contendo a lista de atividades e sequenciamento fortemente definidas. A sequência de atividades com a maior duração e sem folga é chamada de caminho crítico (HENRICH; TILLEY; KOSKELA, 2005; KELLEY; WALKER, 1959; O'BRIEN; PLOTNICK, 2015), sendo essa a definição mais básica do CPM. O CPM surgiu originalmente para planejar e controlar projetos de construção (O'BRIEN; PLOTNICK, 2015). Kenley e Walker (1959) testaram esse novo método em construções na própria Dupont e obtiveram bons resultados na redução de prazo.

2.2.2 Program Evaluation and Review Technique (PERT)

Paralelo ao desenvolvimento do CPM, a Marinha dos Estados Unidos desenvolveu um sistema de planejamento e controle para o programa de mísseis Polaris chamado PERT (CLARK, 1962). O PERT é um método que também calcula o caminho crítico em uma rede de atividades dependentes entre si. PERT e CPM são métodos tão similares que é comum serem descritos unificados em uma mesma técnica CPM-PERT. A principal diferença entre eles é que no PERT se reconhece que todas as estimativas de duração estão sujeitas a riscos e, portanto, podem ser mais curtas ou mais longas que o planejado (LOCK, 2004). A estimativa de durações é obtida por pessoas técnicas responsáveis e são subsequentemente expressos em termos probabilísticos (MALCOLM et al., 1959), por esse motivo, é comum o CPM ser classificado como um método determinístico e o PERT um método probabilístico. A duração esperada (E) de uma atividade, é dada pela Equação 1, as quais são baseadas em três variáveis: uma duração pessimista (P), uma otimista (O) e uma provável (M) (JÓZEFOWSKA; WEGLARZ, 2006):

$$E = \frac{O + 4M + P}{6} \quad (1)$$

A duração de uma atividade ocorre dentro de um intervalo temporal limitado pela estimativa pessimista e otimista. A duração esperada (E), dada pela Equação 1, tende a aproximar-se da estimativa otimista (O) ou pessimista (P) de acordo com a duração provável (M). A duração esperada (E) pode coincidir com a média entre as durações otimista e pessimista se a estimativa provável estiver exatamente entre ambas. Esses três exemplos estão apresentados na Figura 4, onde a duração esperada (E) tende a aproximar-se da otimista (O) na Atividade 1, da pessimista (P) na Atividade 3, e exatamente entre ambas na Atividade 2. As durações podem ser representadas graficamente por meio de uma distribuição Beta conforme os gráficos em forma de “sino” apresentados na Figura 4, onde toda a área total do gráfico é igual a 1, ou seja 100% de probabilidade de ocorrência dentro deste intervalo. Entretanto, o formato do gráfico pode variar de atividade para atividade tendo em vista o peso maior dado para a duração provável na Equação 1. A duração esperada implica em uma chance de 50% de chance de ocorrência em qualquer um dos casos, pois a área do gráfico entre duração otimista e a esperada é igual à área entre a duração esperada e a pessimista (HAJDU; BOKOR, 2014; JÓZEFOWSKA; WEGLARZ, 2006; MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

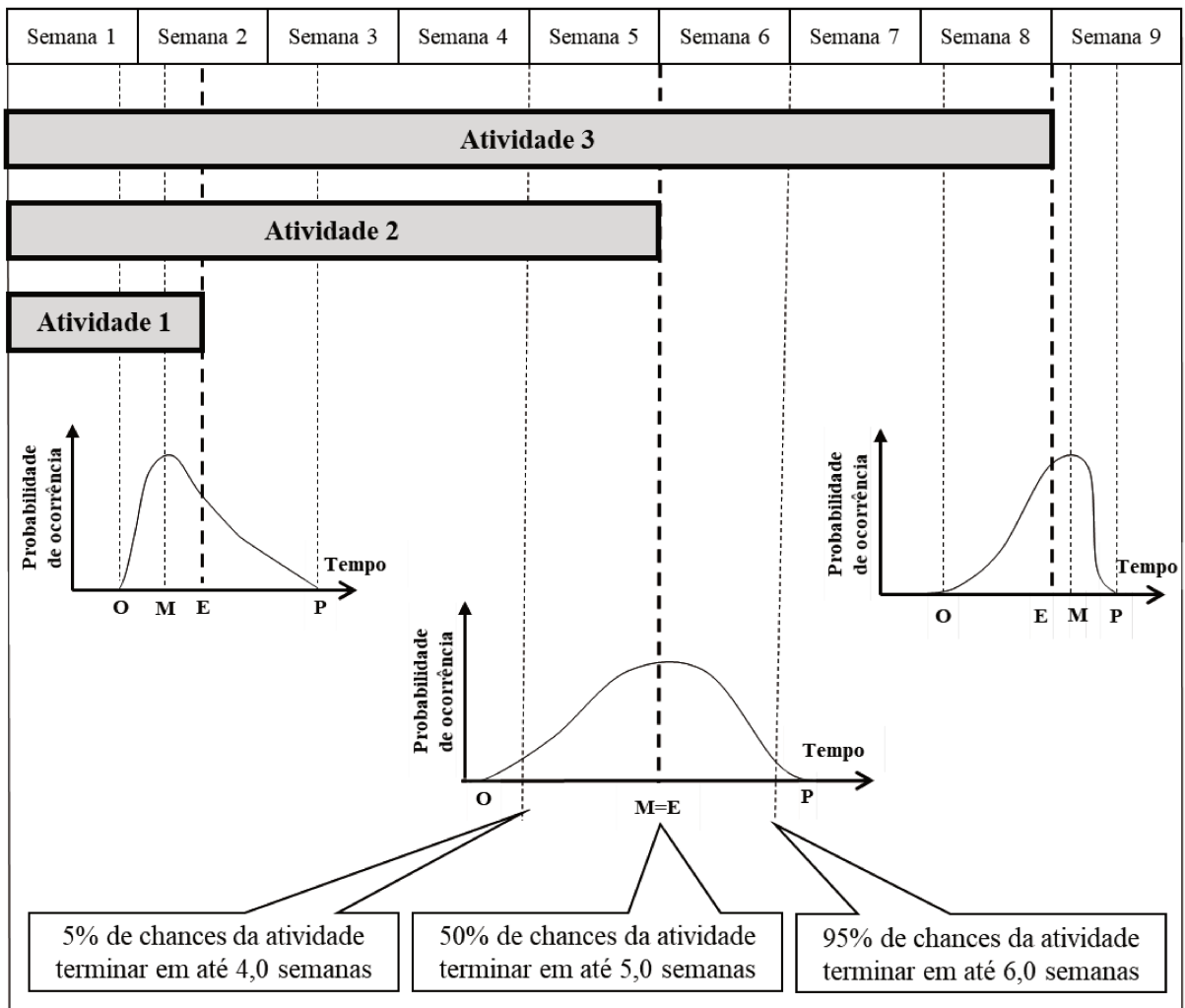


Figura 4: Exemplos da duração estimada em três atividades por meio do PERT

Fonte: o autor

O PERT incorpora também ao método de planejamento ferramentas estatísticas como o Desvio Padrão (Equação 2) e a Variância (Equação 3). O Desvio Padrão indica o quanto a duração de uma atividade pode variar da média, tanto para mais quanto para menos. Portanto, quanto menor for a diferença entre a duração otimista e pessimista menor será o Desvio Padrão e consequentemente a assertividade aumenta (MONTGOMERY; MYERS, 2016). A Figura 5 mostra a distribuição normal do desvio padrão onde, para um baixo grau de assertividade de 68,26%, utiliza-se um Desvio Padrão para mais ou para menos, e, se necessitar um alto grau de assertividade de 99,73%, utiliza-se três Desvios Padrão para mais ou para menos (JÓZEFOWSKA; WEGLARZ, 2006). A Variância tem um significado similar e também calcula a estimativa de quanto a duração pode variar da média e é expressa pelo quadrado do Desvio Padrão, entretanto esse resultado não é utilizado para a atividade individual mas na estimativa da duração total do projeto (MODER; PHILLIPS; DAVIS, 1983).

$$\sigma = \frac{P - O}{6} \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \frac{(P - O)^2}{36} \quad (3)$$

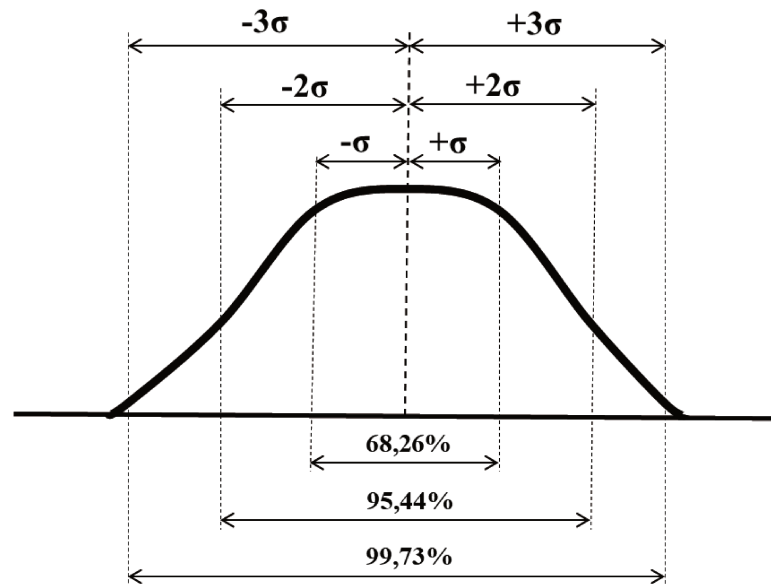


Figura 5: Distribuição normal do Desvio Padrão

Fonte: adaptado de Moder, Phillips e Davis (1983)

Assim como no CPM, o PERT define o caminho crítico como a sequência de atividade que apresentar a maior duração, porém, desta vez, utiliza-se as durações esperadas (E) em cada atividade. A duração total do projeto é a soma das durações de todas as atividades no caminho crítico. Como essa duração total também possui incerteza, ocasionado pelo fato de haver 50% de chances de se atingir a duração de cada atividade individualmente, determina-se a Variância total do projeto com a soma da Variância de cada uma das atividades deste caminho crítico (HAJDU; BOKOR, 2014). O caminho crítico precisa ser composto por uma quantidade razoável de atividades, pois a duração do projeto como um todo será calculada como sendo uma variável aleatória numa distribuição normal de probabilidade. Essa afirmação é assegurada Teorema do Limite Central (MONTGOMERY; MYERS, 2016). Portanto, é possível assumir que no PERT as durações do caminho crítico se distribuem conforme uma distribuição normal de probabilidades.

2.2.3 Redes de precedência

Uma rede é uma representação gráfica lógica e cronológica de atividades e eventos que compõem o projeto (MUBARAK, 2015). Para o planejamento baseado em atividades, a

determinação gráfica das redes pode ser obtida por meio de dois métodos: Método do Diagrama de Setas (MDS) e Método do Diagrama de Precedência (MDP).

MDS é também chamado de Método da Atividade na Seta, ANS ou Método I-J, pois o método consiste em apresentar a atividade de um nó i até um nó j . A Figura 6 apresenta um diagrama com doze atividades mandatórias (letras), duas atividades fantasmas (setas tracejadas) e sete eventos intermediários (números) além dos eventos de início e fim. Um evento é um ponto no tempo em que a atividade começa ou termina (MUBARAK, 2015). Nenhum evento pode ocorrer ou ser atingido sem que todas as atividades antecessoras sejam concluídas, da mesma forma, nenhuma atividade deve começar sem que o evento ocorra (BALDWIN; BORDOLI, 2015). Atividades fantasma são atividades fictícias inserida para manter a propriedade lógica da rede ou para distinguir atividades uma das outras (normalmente, representam-se estas ligações por linhas tracejadas).

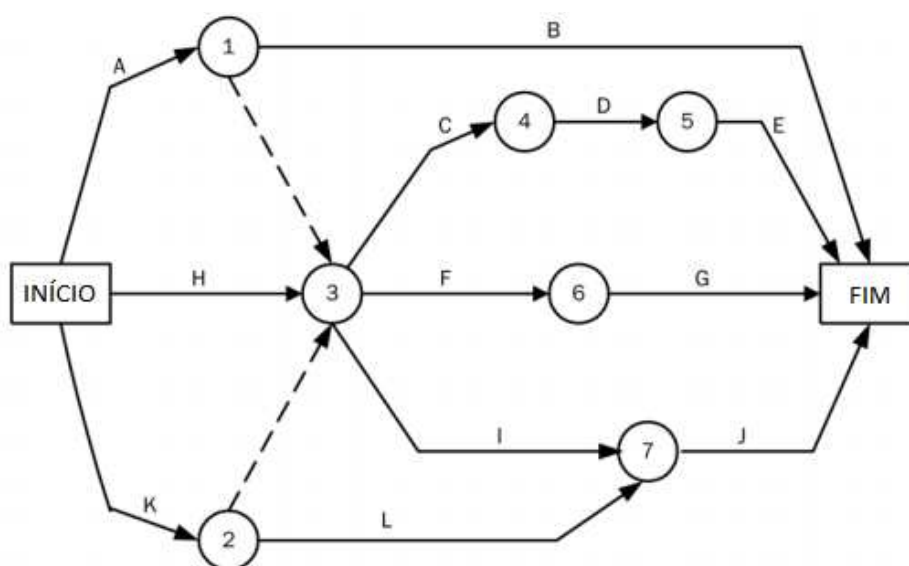


Figura 6: ANS ou MDS

Fonte: PMI (2004)

MDP é também chamado de Método da Atividade no Nó (ANN). Diferente do MDS, as atividades são representadas pelos nós (letras) e as setas representam a relação lógica entre elas (Figura 7) (MUBARAK, 2015). O MDP tem vantagens sobre o MDS, a maior delas de que é mais intuitivo e natural para gerenciá-lo. Além disso, não há a necessidade de inserir atividades fantasmas, é mais didático, e estudantes e gerentes têm maior facilidade de assimilá-lo. A maioria dos *softwares* disponíveis utiliza esse método como algoritmo (DAWSON; DAWSON, 1995).

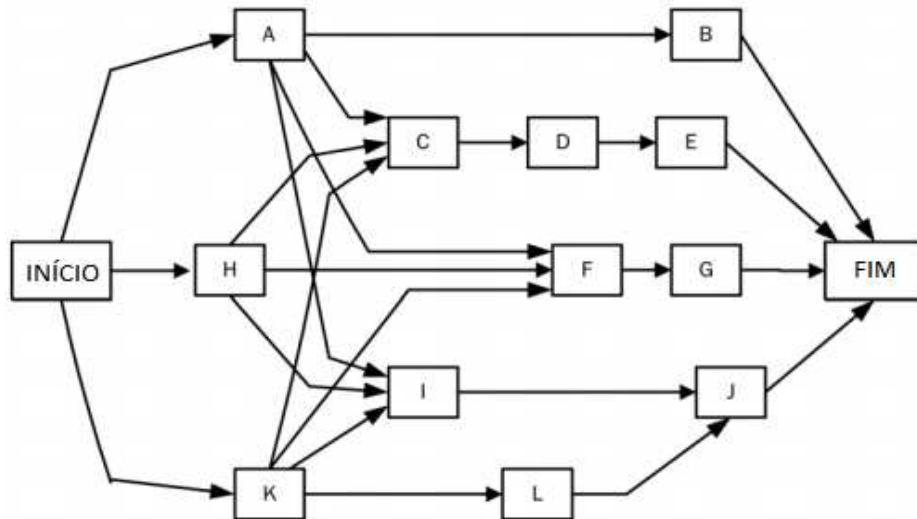


Figura 7: ANN ou MDP

Fonte: PMI (2004)

2.2.4 Gráfico de Gantt

Apesar do amplo desenvolvimento científico das redes MDS e MDP, a forma mais popular para fazer a diagramação e análise de projetos de construção é o gráfico de barras com atividades vinculadas, também conhecido como gráfico de Gantt (COOKE; WILLIAMS, 2009). O motivo para essa popularidade está diretamente ligada ao desenvolvimento de *softwares* com essa interface, a qual reúne boa parte dos conceitos técnicos das redes de precedência com o visual amigável (BALDWIN; BORDOLI, 2015). Esse gráfico é exemplificado na Figura 8, onde no eixo vertical são descritas as atividades e na horizontal encontra-se a escala de tempo. Uma das vantagens dessa representação é a fácil visualização das durações; quanto maior o comprimento da barra maior é a duração da atividade. Atividades predecessoras e sucessoras são ligadas por setas no mesmo conceito do MDP e a atividades que pertencem ao caminho crítico são destacadas.

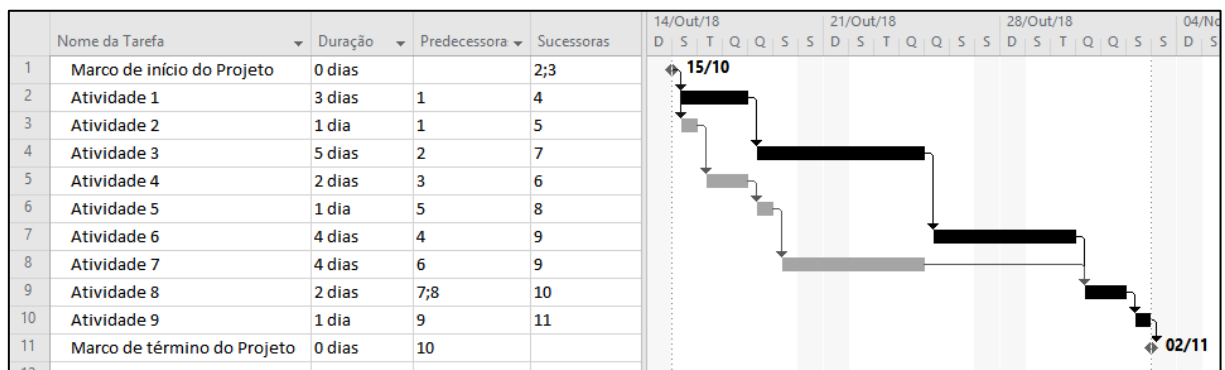


Figura 8: Gráfico de Gantt vinculado elaborado no Microsoft Project

Fonte: o autor

A literatura oferece uma vasta fonte de procedimentos e boas práticas para o cálculo do CPM, mas essencialmente seguem o fluxo de desenvolvimento apresentado na Figura 9. Esses procedimentos são explorados nas seções seguintes.

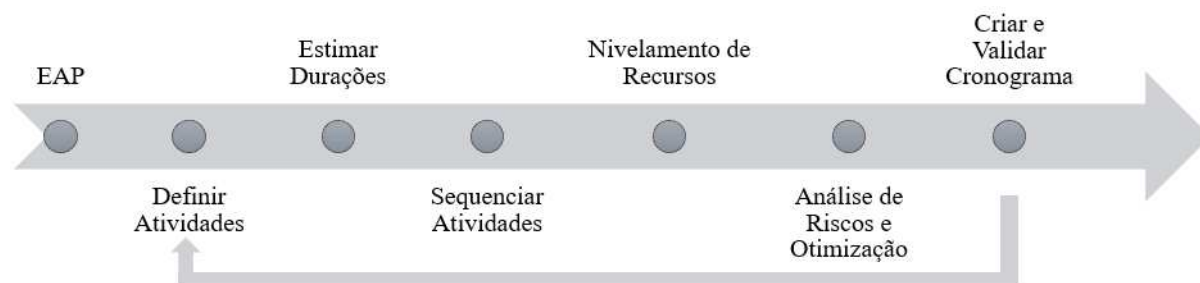


Figura 9: Processo de planejamento CPM

Fonte: adaptado de O'Brien e Plotnick (2015)

2.2.5 Estrutura analítica do projeto

Estrutura Analítica do Projeto (EAP) é também conhecida pela expressão *Work Breakdown Structure* (WBS) que significa em português “estrutura de decomposição do trabalho” (MATTOS, 2010; XAVIER; XAVIER; MELO, 2014). O termo EAP é conceituado com diferenças sutis por diversas bibliografias. A norma da *International Organization for Standardization* (ABNT ISO, 2012) define EAP como uma decomposição da estrutura hierárquica para apresentar o trabalho que necessita ser completado, a fim de alcançar os objetivos do projeto. O PMI (2017) define como uma subdivisão hierárquica das entregas do projeto através de pacotes menores que sejam gerenciáveis. A EAP faz com que o escopo do projeto seja bem definido e é imperativo saber o que está e o que não está incluso (BALDWIN; BORDOLI, 2015).

A técnica tipicamente utilizada para construir uma EAP é a decomposição do trabalho (PMI, 2017). Ela faz com que o projeto seja dividido em pacotes de trabalho que possam ser estimados, planejados, validados e controlados (BALDWIN; BORDOLI, 2015). Uma das propriedades da EAP é que a soma de todas os itens menores resultantes dessa decomposição representa todo o projeto (PMI, 2017). Essa afirmação pode ser extrapolada para propriedades mais específicas. Por exemplo, a soma dos custos de cada item do último nível é igual ao custo total do projeto. Se algum trabalho ou entrega não consta em algum dos ramos da EAP esse trabalho não faz parte do projeto. Um mesmo trabalho não pode estar em mais de um local na EAP, para não haver duplicidade. Os pacotes de trabalho na EAP são agrupados por afinidade de escopo e não por ordem cronológica (MATTOS, 2010).

A EAP compõe a linha de base de escopo, juntamente com o dicionário da EAP e demais especificações. A linha de base de escopo é fruto do planejamento de escopo do PMBOK, apresentados pelos quatro processos na Figura 10 (PMI, 2017). A apresentação da EAP inclui uma lista de itens com códigos ou em formato de árvore, a qual permite exibir a hierarquia. Na indústria da construção, esses códigos da EAP são frequentemente associados ao documento utilizado como modelo pelo orçamentista ou às contas de controle do departamento de financeiro (O'BRIEN; PLOTNICK, 2015). A Figura 11 apresenta um exemplo de EAP.

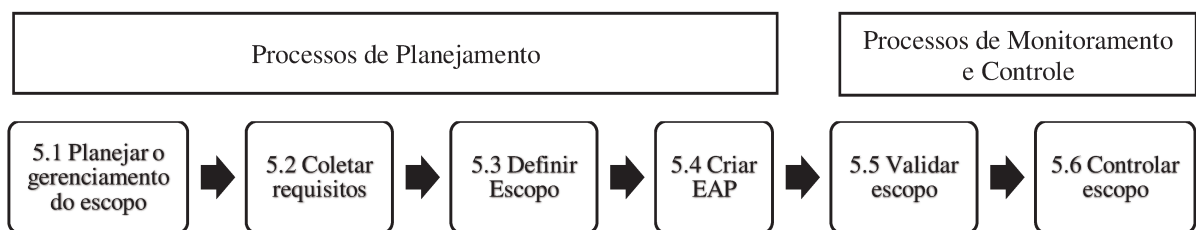


Figura 10: Processos de Escopo do PMBOK

Fonte: adaptado de PMI (2017)

A linha de base de escopo é uma das entradas dos processos na fase de monitoramento e controle do projeto. Através dela é possível validar o escopo, ou seja, conferir se ele está sendo entregue obedecendo os requisitos estabelecidos ou ainda se a execução atingiu a qualidade esperada. A EAP também permite controlar o escopo, prevenir a entrega de escopo adicional ou escopo reduzido. As linhas de base de escopo permitem medir o desempenho do projeto, da mesma forma que as linhas de base de tempo e custo faz nas suas respectivas áreas (MULCAHY, 2013; PMI, 2017). A EAP promove uma estrutura para detalhar e estimar os custos e também para guiar o desenvolvimento do cronograma. Essa abordagem é amplamente usada pela indústria (BALDWIN; BORDOLI, 2015).

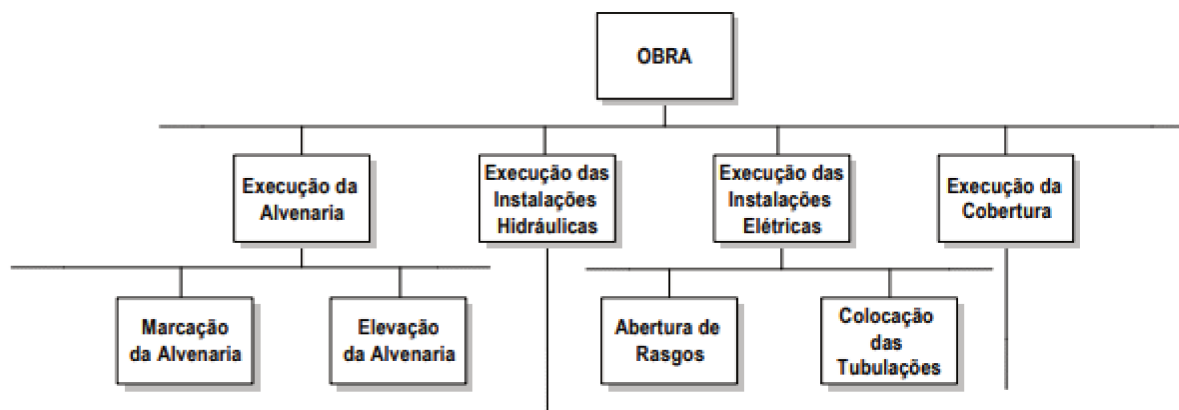


Figura 11: Exemplo de EAP

Fonte: Bernardes (2001)

2.2.6 Definir atividades

Definir atividade é um processo de identificação e documentação das ações específicas a serem realizadas para produzir as entregas do projeto (PMI, 2017). Uma atividade no CPM também é um tida como um conjunto de instruções (O'BRIEN; PLOTNICK, 2015). A EAP é a principal fonte de dados para definição de atividades. Uma atividade pode conter elementos de diferentes pacotes da EAP, bem como um pacote da EAP pode ser atribuído a mais de uma atividade. Entretanto, a premissa de não duplicar o escopo deve ser obedecida. A Figura 12 mostra como os códigos da EAP podem ser transformados em uma estrutura de códigos de atividades. Este exemplo, a atividade 4.1 contém uma certa quantidade de trabalho dos itens 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5 da EAP.

2	ESTRUTURA	Quantidade	UNID		4	ESTRUTURA
2.1	Aço	50.000,00	kg		4.1	Pavimento 1
2.2	Concreto	5.000,00	m ³		4.2	Pavimento 2
2.3	Fôrma	2.500,00	m ²		4.3	Pavimento 3
2.4	Escoramento	4.500,00	m ²		4.4	Pavimento 4
2.5	Mão de Obra	5.000,00	m ³		4.5	Pavimento 5

Figura 12: EAP convertida em lista de atividades

Fonte: o autor

As atividades possuem códigos e hierarquias diferentes da EAP. Além da lista de códigos da EAP e da atividade podem ainda existir códigos diferentes para recursos, locais, ou insumos no *software* de controle de custos (O'BRIEN; PLOTNICK, 2015). Com a disseminação do BIM, a indústria da construção e a comunidade acadêmica têm se esforçado para promover a unificação de todos esses códigos. Entretanto não há uma estrutura que seja universalmente aceita (PARK; CAI, 2017), deixando as empresas optarem para aquela que melhor se adapta aos seus projetos. Se a empresa não tiver um procedimento ou orientação para o emprego de código para atividades, o planejador pode fazer uso no nome da atividade para aplicação de diferentes atributos (O'BRIEN; PLOTNICK, 2015). Os atributos da atividade podem ser em relação ao local da atividade, ao tipo de recurso, ao responsável, entre outros. *Softwares* de gestão de cronograma como Microsoft Project e o Primavera sugerem inserir atributos em colunas separadas para melhorar a manipulação dos dados a aplicação de filtros. Manter o título da atividade sucinto é uma boa prática para desenvolver o planejamento.

Uma atividade precisa ter um ou mais calendários atribuídos. O calendário da tarefa pode ser diferente do calendário do projeto ou do recurso. Essa informação é muito importante para planejamento, pois todos os calendários devem ser compatibilizados (O'BRIEN; PLOTNICK, 2015). Por exemplo, a cura do concreto ocorre em 28 dias corridos no calendário do projeto, enquanto no calendário das atividades se passaram apenas 20 já que se consideram apenas dias úteis. A gestão dos calendários inclui a programação de feriados e ocasiões não produtivas.

Na lista de atividades, devem ser incluídas ainda as datas-marco. Marcos são atividade que não possuem duração (O'BRIEN; PLOTNICK, 2015; PMI, 2017) e estabelecem limites ou restrições ao cronograma. Elas geralmente advêm de necessidades contratuais como data de início ou data de entrega do empreendimento, ou de determinadas etapas relevantes.

2.2.7 Estimar duração

O planejador é responsável por garantir que as durações possuam durações realistas (KERZNER; SALADIS, 2011). A estimativa das durações pode ser obtida das seguintes formas (PMI, 2017):

- (1) **Estimativa de um ponto:** leva em conta a opinião de um único ponto de vista. Pode ser obtido, por exemplo, de acordo com a experiência do planejador, do gerente, de especialista ou consultor, ou do líder da equipe executora.
- (2) **Estimativa de três pontos:** a duração é obtida através média de três pontos de vista: uma pessimista (*P*), uma otimista (*O*) e uma provável (*M*). Essa técnica deve ser usada apenas na ausência de informações mais precisas. A fórmula da duração é a média das três estimativas de duração:

$$duração = \frac{O + M + P}{3} \quad (4)$$

- (3) **Estimativa análoga:** é obtida dos dados de obras anteriores. Pode ser usada para atividades isoladas ou para análises-macro de empreendimentos. Os escopos, recursos e circunstâncias da obra anterior devem ser similares à atual pra obter maior precisão.
- (4) **Estimativa paramétrica:** são utilizados parâmetros de consumo por unidade de trabalho. Por exemplo a duração para executar um metro quadrado vezes a quantidade de metros quadrados de trabalho que a atividade possui.

- (5) **Estimativa *bottom-up*:** é a soma das durações de cada pacote de trabalho no nível mais baixo dentro da atividade. Decompor a atividade para níveis mais baixos que a EAP pode ser necessário para obter uma estimativa de duração.
- (6) **Análise de dados:** em um primeiro momento não deve ser inserida nenhuma contingência nas durações. As contingências são inseridas como resultado da análise riscos. Essa ferramenta de análise serve para avaliar alternativas ou a capacidade de compressão da duração.
- (7) **Reuniões e tomada de decisão:** Decisão sobre a duração através do consenso obtido de um grupo pessoas envolvidas com o projeto.

A definição da duração constitui um desafio, pois durações muito curtas deixam as atividades sujeitas a incertezas e, em contrapartida, o seu superdimensionamento causa diversas perdas ao projeto. A duração planejada de uma tarefa pode ser associada com a Síndrome do Estudante e a Lei de Parkinson conforme apresentado na Figura 13 (GOLDRATT, 1997; GOLDRATT; COX, 2014). A Síndrome do Estudante diz respeito ao comportamento de estudantes reivindicarem um prazo longo para estudarem para uma prova entretanto, mesmo com o prazo estendido, eles só estudariam poucos dias, ou apenas algumas horas, antes da prova (COX; SCHLEIER, 2010). Já na Lei de Parkinson, o autor, Cyril Northcote Parkinson (1955,1957), afirma que o trabalho prolonga-se ao longo de todo o tempo disponível para conclusão (PARKINSON, 1955, 1957), mesmo tendo condições para terminar antecipadamente. Ambos os casos evidenciam que um prolongamento sem critério da duração de uma tarefa incorpora perdas ao projeto.

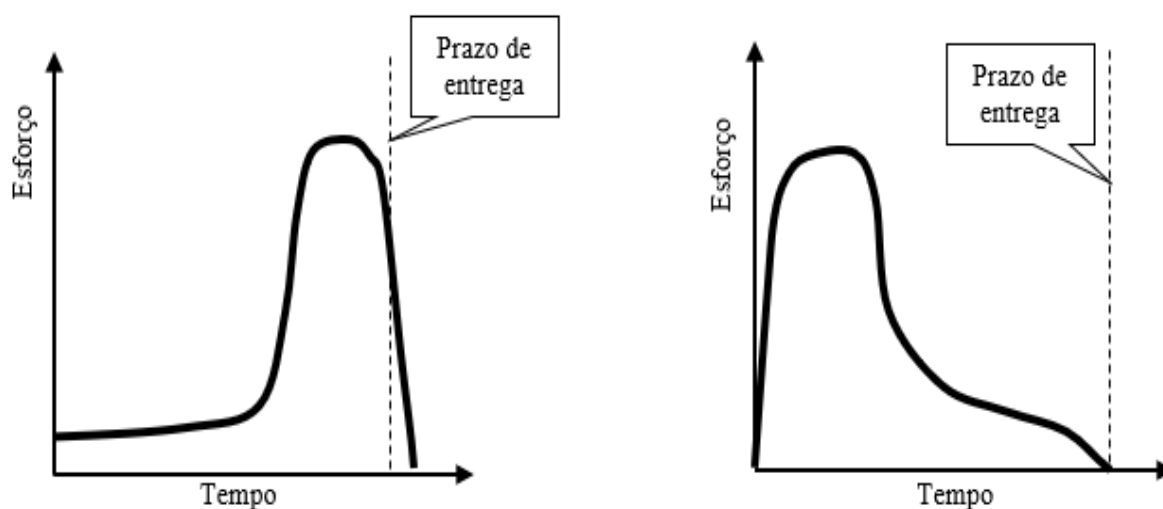


Figura 13: Síndrome do Estudante (esquerda) e a Lei de Parkinson (direita)

Fonte: adaptado de Goldratt e Cox (2014)

2.2.8 Sequenciamento

As atividades são vinculadas umas às outras por meio de quatro tipos de relacionamento conforme descrito abaixo e exemplificadas na Figura 14 (MUBARAK, 2015; O'BRIEN; PLOTNICK, 2015):

- (i) **Término a Início (TI):** A atividade sucessora inicia quando a atividade predecessora terminar.
- (ii) **Início a Início (II):** Duas atividades devem começar na mesma data.
- (iii) **Término a Término (TT):** Duas atividades devem terminar na mesma data.
- (iv) **Início a Término (IT):** A atividade predecessora só termina quando a sucessora iniciar.

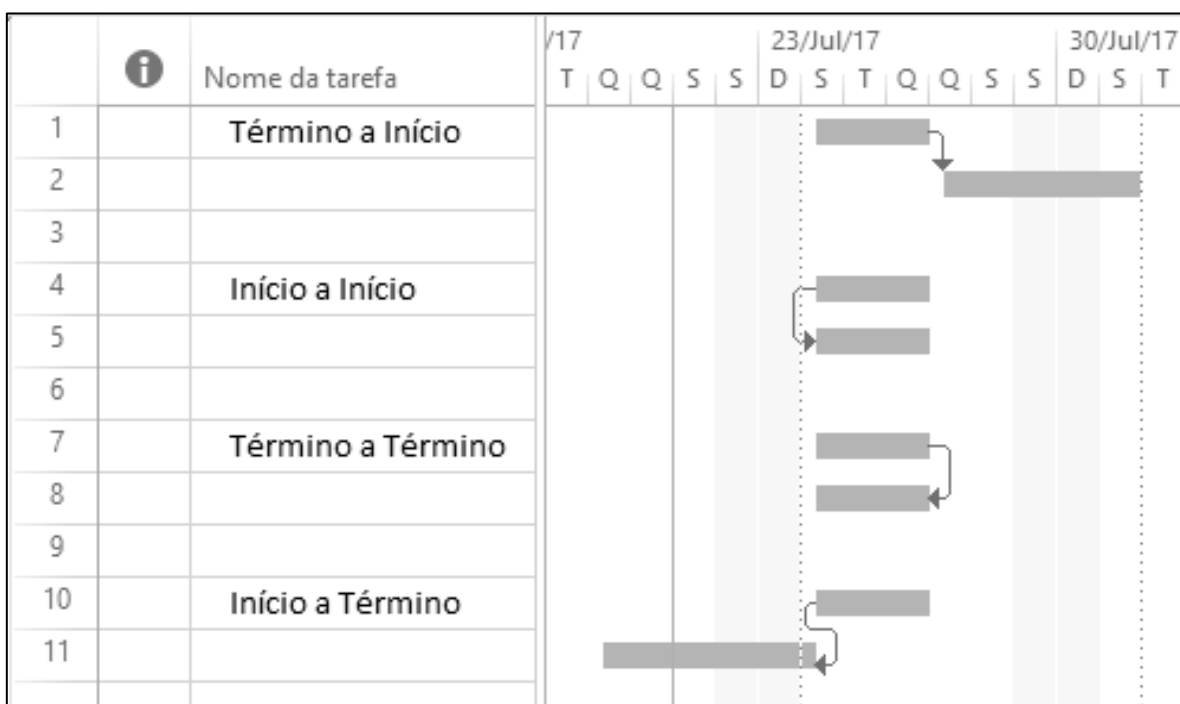


Figura 14: Tipos de vínculos entre atividades

Fonte: adaptado de Mubarak (2015)

Esses vínculos de sequência de atividade são diferentes dos vínculos de trajetória. Os vínculos de trajetória estabelecem dependências entre atividades de mesmo tipo, que se repetem de pavimento em pavimento. Vínculos de sequência são utilizadas para dependências entre atividades de natureza diferentes, que são desenvolvidas dentro de um mesmo pavimento, conforme Figura 15 (ASSUMPÇÃO,; LIMA JR., 1996). Entretanto, apenas os quatro tipos de vínculos apresentados que são disponíveis para formar a rede, o que reforça a ideia de que o CPM considera as atividades como pacotes únicos, independente de local.

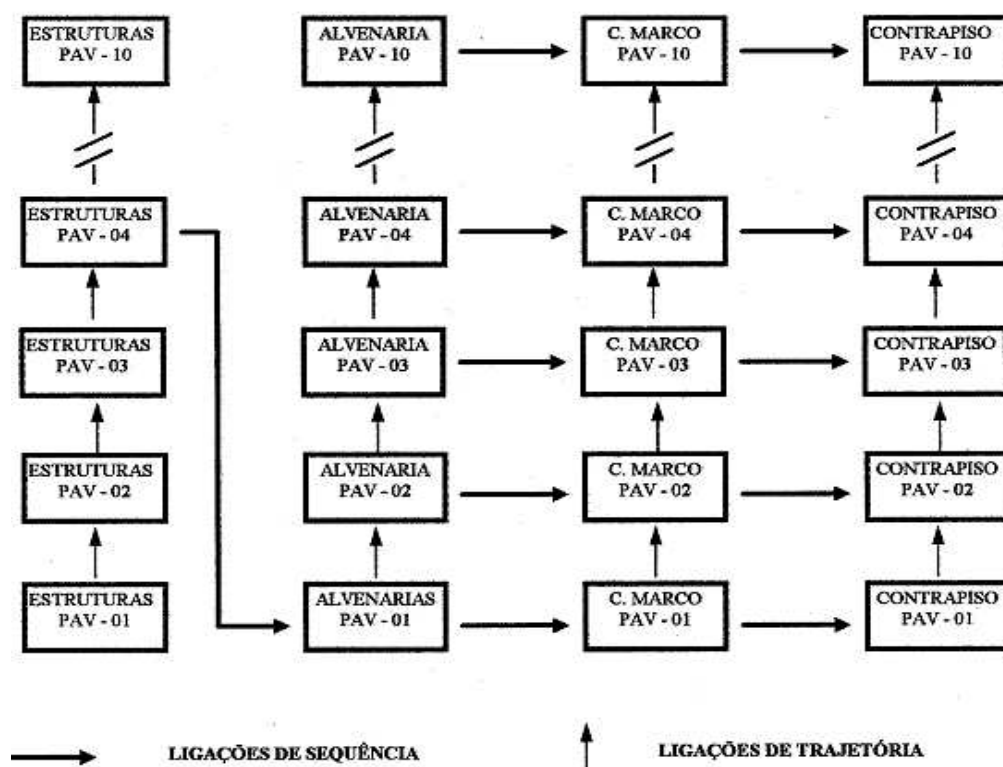


Figura 15: Vínculos de sequência e de trajetória

Fonte: Assumpção e Lima (1996)

As boas práticas de planejamento instruem a não deixar pacotes de atividade soltos na rede. Com exceção do marco de início e fim de projeto, todas as atividades devem ter uma predecessora e uma antecessora (KERZNER, 2014; MULCAHY, 2013; PMI, 2011). Com a definição do escopo, duração e sequência obtém-se a forma inicial da rede de precedência, portanto, o caminho crítico já pode ser visualizado. O caminho crítico é aquela sequência de atividades que parte do início do projeto até o término com folga igual a zero. Portanto, as atividades localizadas neste caminho são críticas e não podem sofrer atraso sem atrasar o projeto como um todo (KERZNER, 2014; MUBARAK, 2015; O'BRIEN; PLOTNICK, 2015; PMI, 2017; VARGAS; MOREIRA, 2015). Os principais tipos de folga são:

- (i) **Folga Total:** é a quantidade de tempo que uma atividade pode atrasar sem comprometer a data final do projeto ou um marco intermediário já calculado na rede de precedência;
- (ii) **Folga Livre:** é a quantidade de tempo que uma atividade pode atrasar sem atrasar o início da sua sucessora;
- (iii) **Folga do Projeto:** é a quantidade de tempo entre a data de término calculada na rede de precedência e a data de término imposta externamente, como por exemplo data de término contratual;

- (iv) **Folga Dependente:** A quantidade de tempo que uma atividade pode atrasar sem ultrapassar o início mais tarde possível da mesma atividade.
- (v) **Folga Independente:** A quantidade de tempo que uma atividade pode atrasar sem afetar a data de início mais cedo possível da atividade sucessora.

Outra interferência no sequenciamento de atividade é a determinação do tempo de latência, também chamada de tempo de espera ou *lead time* ou *lag*. Ele refere-se ao período de tempo que uma atividade deve aguardar até a sucessora ser liberada para início (SEARS; SEARS; CLOUGH, 2008). Por exemplo, a alvenaria só pode iniciar em um determinado local após a retirada do escoramento da estrutura que ocorre geralmente em 28 dias corridos. Esta latência de espera não é considerada folga, ele é parte da duração da atividade, mesmo que nenhum trabalho ocorra no local. O tempo de latência pode ser negativo no caso de uma atividade necessitar iniciar antes da anterior terminar e ainda manter o vínculo do tipo Término-Início. Para atividades liberadas para iniciar logo após a conclusão da predecessora, pode-se dizer que o tempo de latência é igual a zero.

2.2.9 Recursos

Os recursos, no âmbito do planejamento da construção, referem-se à mão de obra, equipamentos e materiais. A disponibilidade, ou não, de recursos impõe muitas restrições ao projeto e deve ser gerenciada cuidadosamente durante o processo de planejamento. Os recursos de mão de obra são particularmente importantes no planejamento, já que estes normalmente promovem os maiores impactos em termos de prazo. Existem duas formas dos recursos serem tratados (GORDON; TULIP, 1997):

- (i) **Agregação de recursos:** consiste em reunir os recursos previstos em uma unidade de tempo específica. Geralmente a unidade é dia. O resultado é um histograma que pode ser comparado com as atividades no período e a verificação da real necessidade do recurso;
- (ii) **Acumulação de recursos:** análise do consumo de recursos de forma acumulada, geralmente usando uma curva “S”. Normalmente, essa abordagem tem o objetivo em otimizar os custos de cada recurso;
- (iii) **Alocação de recursos:** consiste no agendamento dos recursos dentro de cada atividade. Existem duas formas de fazê-lo. Na primeira, as durações das atividades e o prazo final do projeto são fixas e os recursos podem ser alocados na quantidade

que forem necessários. Na segunda, a quantidade de recursos é limitada e as durações previstas são extrapoladas;

- (iv) **Nivelamento ou suavização de recursos:** promove a redução das variações acentuadas entre os picos e vales no histograma de demanda de recursos, dentro da restrição de término do projeto.

Diversos autores desenvolveram o nivelamento e suavização propondo técnicas que formalizam o procedimento (EASA, 1989; EL-SAYEGH, 2018; GHODDOUSI et al., 2013; HEGAZY, 1999; KARAA; NASR, 1986; SENOUCI; ELDIN, 2004; SUBRAMANI; M.KARTHICK, 2018; WIEST, 1962). De forma geral, esses autores nivelam os recursos por meio das folgas disponíveis no projeto alterando uma ou mais dessas variáveis: (i) as datas de início e término da atividade flutuam dentro da folga mantendo a duração da atividade; (ii) a duração da atividade é aumentada para que consuma menos recursos em um determinado momento, porém estendendo-se por um período maior consumindo assim parte ou toda a folga; (iii) estendendo a data de término do projeto. As Figuras 16 e 17 mostram dois histogramas de consumo de mão de obra, o primeiro, antes do nivelamento, com uma grande oscilação e o segundo, após o nivelamento com uma distribuição quase constante (LOCK, 2004). Neste exemplo, o consumo de Homem-hora (Hh) trabalhadas não foi alterado com a aplicação do nivelamento. Entretanto, isso nem sempre ocorre, pois, alterar a quantidade de recursos não é garantia de que a atividade seja acelerada ou desacelerada. Outras limitações devem ser consideradas como estações de trabalho muito pequenas ou a logística de abastecimento de materiais, entre outras, que podem afetar a produtividade.

Kenley (2004) afirma que todas as formas de modelagem de recursos incorporadas no agendamento baseado em atividades (agregação, acumulação, alocação, nivelamento e suavização) concentram-se nas demandas das atividades como elas sendo eventos únicos e, portanto, impedem o fluxo contínuo dos recursos. Por esse motivo, a aplicação de excesso de nivelamento pode também ser prejudicial do ponto de vista do fluxo ininterrupto de equipes

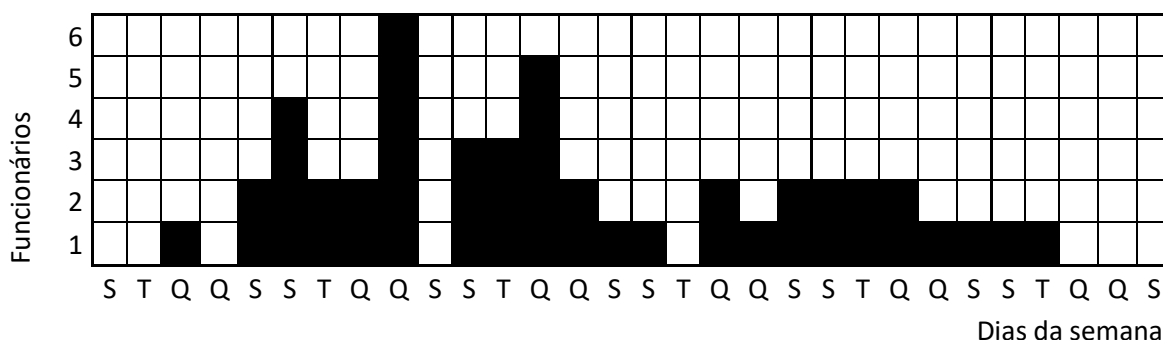


Figura 16: Uso de recursos sem nivelamento

Fonte: adaptado de Lock (2004)

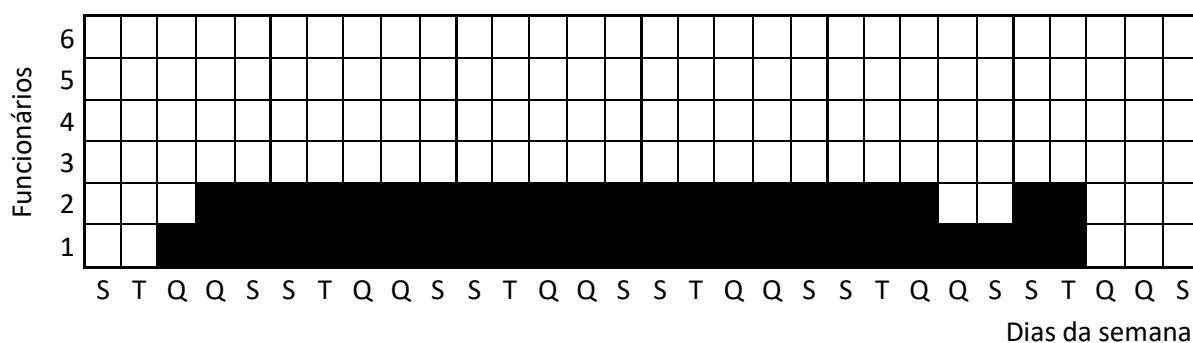


Figura 17: Uso de recursos com nivelamento

Fonte: adaptado de Lock (2004).

2.2.10 Otimização do cronograma

O foco principal do CPM é na duração do projeto. Diz-se que um cronograma está otimizado, quanto menor for sua duração com o mínimo impacto em outras áreas do projeto como custo e qualidade. O PMI (2017) apresenta duas técnicas para reduzir o término do projeto:

- (i) **Paralelismo:** Rompe o vínculo de sequência entre duas atividades do caminho crítico. As atividades, antes realizadas em série, passam a ser executadas paralelamente. Essa técnica faz com que aumentem os riscos com retrabalho, pode haver sobreposição de equipes em um mesmo local, e demanda maior da capacidade de fiscalização na obra;
- (ii) **Compressão da atividade:** consiste em acelerar as durações das atividades do caminho crítico. Isso pode ser feito adicionando-se recursos, permitindo hora extra para a equipe, aumentar a produtividade promovendo uma bonificação para a equipe, entre outras. Essa técnica geralmente implica em acréscimo de custos diretos ao projeto.

A otimização pode ser obtida por meio da remoção de restrições impostas após a determinação das durações e sequenciamento. A remoção de restrição envolve basicamente a alteração da forma como as folgas são consumidas. Uma restrição pode também ser imposta por de uma data específica causada por alguma ação externa, ou quanto à data em que um recurso deve estar disponível. O Quadro 1 apresenta um resumo das restrições que podem ser trabalhadas no CPM.

Quadro 1: Tipos de restrições de cronogramas

Restrições flexíveis	O mais breve possível	As atividades começam (e, portanto, terminam) na data mais cedo possível. A folga com a atividade predecessora é eliminada. Este é o padrão de configuração da maioria dos <i>softwares</i> .
	O mais tarde possível	As atividades terminam (e, portanto, começam) na data mais tarde possível. A folga com a atividade sucessora é eliminada. Essa configuração torna todas as atividades críticas, pois se elas não terminarem na última data possível a conclusão do projeto no prazo estipulado ficará comprometida.
Restrições não flexíveis	Deve terminar em	Uma data específica é definida para a atividade terminar. Ela é independente das demais dependências, atrasos ou nivelamento de recursos.
	Deve começar em	Uma data específica é definida para a atividade começar. Ela é independente das demais dependências, atrasos ou nivelamento de recursos.
	Folga total zero	Essa restrição torna a atividade "crítica" juntamente com as antecessoras e sucessoras.
	Final esperado em	Uma data específica é definida. Entretanto, ela tem o efeito de estender a duração da atividade até essa data e não apenas deslocá-la no tempo com a duração fixa.
	Data final do projeto	A data de término do projeto força todas as atividades a se adequarem dentro do mesmo.
Restrições moderadas	Folga livre zero	Uma atividade é programada para terminar imediatamente antes do início de sua atividade sucessora.
	Não terminar antes de	A data mais próxima possível em que a atividade pode ser completada. (A atividade não pode terminar em qualquer outro momento.)
	Não terminar depois de	A última data possível em que a atividade pode ser completada. (A atividade pode ser terminada antes desta data especificada.)
	Não começar antes de	A primeira data possível em que uma atividade pode começar.
	Não terminar depois de	A última data possível em que uma atividade pode começar.

Fonte: adaptado de Baldwin e Bordoli (2015)

2.3 Planejamento baseado em locais

2.3.1 Histórico do planejamento baseado em locais

O planejamento baseado em locais não é um conceito novo. Um dos primeiros registros de um planejamento baseado em locais foi do pesquisador polonês Karol Adamiecki

(KENLEY; SEPPANEN, 2010). As publicações de Adamniecki são anteriores a Frederick Taylor e apresentaram gráficos tão inovadores para a época quanto os de Henry Gantt, em especial o “Harmonograma” (DEBICKI, 2015). Em seus trabalhos, Adamiecki defende harmonização dos ritmos de produção em cada estação de trabalho, a redução de lotes diminui a fadiga dos trabalhadores e assim produzem mais (ADAMIECKI, 1924).

Anos mais tarde, uma das obras mais icônicas da engenharia foi planejada por meio de um arranjo baseado em locais, o *Empire State Building* em New York. Essa obra foi executada entre março de 1930 e abril de 1931, sendo concluída 5 meses antes do prazo e 25% abaixo do orçamento (JACOBSSON; WILSON, 2018). O sucesso desse empreendimento se deve a uma combinação de vários fatores e não é possível atribuí-lo apenas ao uso do planejamento baseado em locais. Entretanto, a forma como foi planejado é considerada bastante arrojada até para os padrões atuais, uma parte deste cronograma é apresentado na Figura 18 (JACOBSSON; WILSON, 2018; PARTOUCHE; SACKS; BERTELSEN, 2008). Esse método foi ainda implantado e aprimorado nas décadas de 1940 e 1950 por empresas como a Goodyear e General Electric e também pela Marinha norte americana antes mesmo do desenvolvimento do PERT (KENLEY; SEPPANEN, 2010).

O planejamento baseado em locais passou a ser explorado a partir da década de 1960 como uma alternativa ao CPM. Como já apresentado, o CPM considera cada atividade como um evento único e, mesmo com o nivelamento, os recursos tendem a ficar ociosos entre um evento e outro (KENLEY; SEPPANEN, 2010). O tempo ocioso de recursos fica geralmente incorporado dentro da rede de precedência e esse problema torna-se ainda maior em obras repetitivas, pois o tempo ocioso multiplica-se na mesma proporção (ARDITI; SIKANGWAN; TOKDEMIR, 2002). Esse problema motivou pesquisadores ao redor do mundo em uma busca para resolvê-lo como, por exemplo, em Israel com Peer, na Austrália com Mohr, no Canadá com Russel, na Finlândia com Kankainen e muitos outros dos EUA como Arditi (KENLEY; SEPPANEN, 2010). As soluções, em geral, reduziam o problema por meio de um planejamento baseado em locais ou unidades de produção o qual foca no fluxo contínuo dos recursos ao invés de atividades isoladas. A Linha de Balanço (LDB) e a Linha de Fluxo (LF) tiveram um destaque sobre as demais.

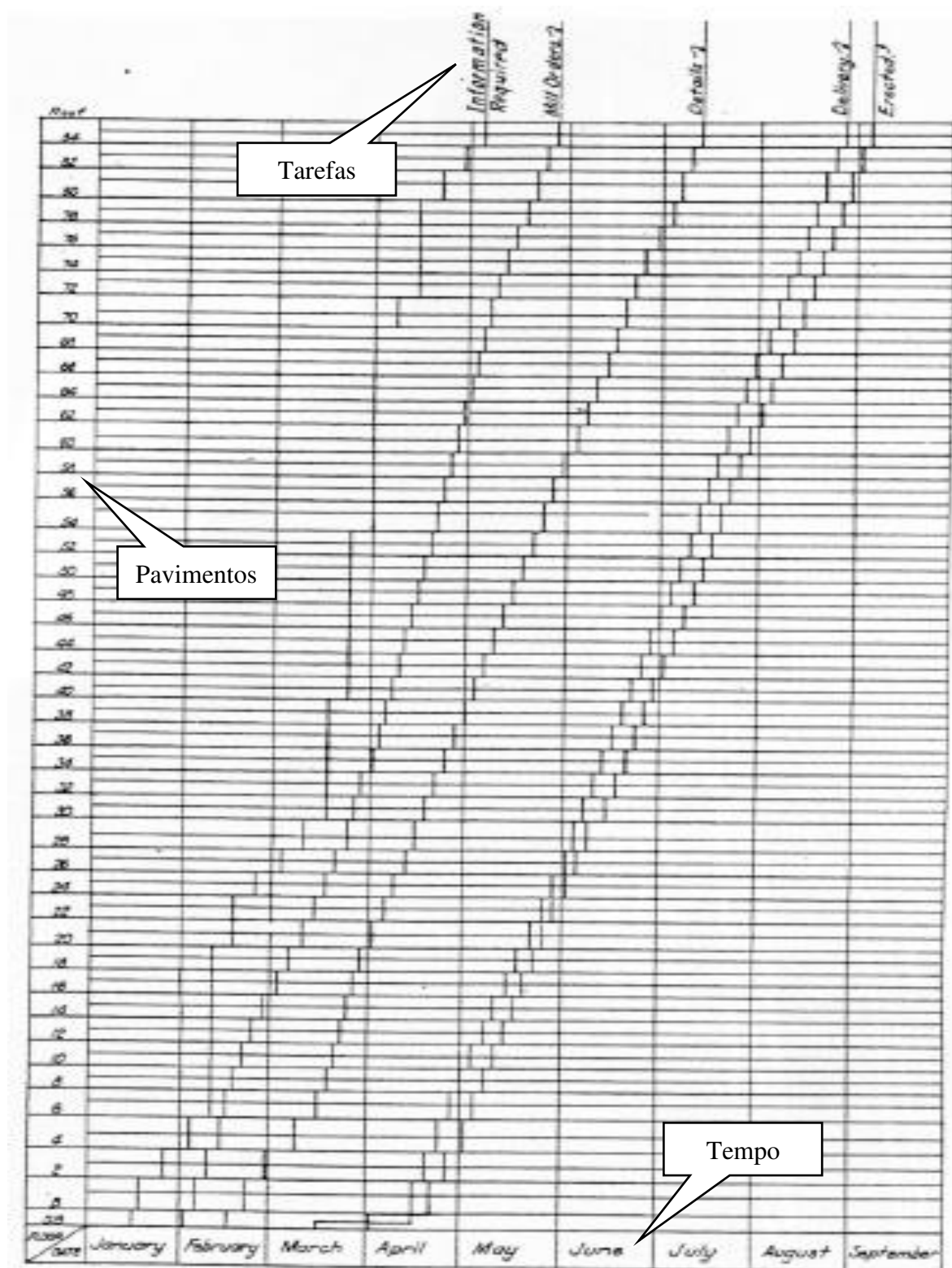


Figura 18: Cronograma do *Empire State Building*

Fonte: Willis e Friedman (1998)

Lumsden (1968) apresentou o LDB como uma ótima forma para balancear recursos em um projeto de casas com alto grau de repetição. O método também obteve êxito em outras categorias de obras como infraestrutura, redes de água e estradas (ARDITI; ALBULAK, 1986;

GOUDA; HOSNY; NASSAR, 2017; POLAT; BUYUKSARACOGU; DAMCI, 2009) onde a unidade fundamental é um quilômetro, e em prédios com vários pavimentos (ARDITI; SIKANGWAN; TOKDEMIR, 2002; MENDEZ; HEINECK, 1998), onde a unidade fundamental é um pavimento. A LDB é um diagrama que representa as unidades de entrega no eixo vertical e o tempo no eixo horizontal como na Figura 19. Inicialmente, as tarefas foram representadas como linhas duplas paralelas e o período medido entre essas linhas representa a duração de uma atividade para a unidade de entrega ser concluída. A inclinação formada por essas linhas é a taxa de entrega (BIOTTO et al., 2017). A LF é muito similar à LDB, e suas diferenças poder ser comparada a ANN e ANS do CPM (KENLEY; SEPPANEN, 2010). Diferença mais visível está na representação gráfica, ao invés de representar um uma linha dupla, a LF é representada por uma linha única. As linhas da LDB mostram a evolução das equipes na entrega das unidades de trabalho (não necessariamente locais). Já na LF, a linha representa a tarefa que percorre os locais. Essa pequena diferença no LF eliminou a necessidade por repetição que há no LDB (KENLEY; SEPPANEN, 2010), pois nem todos os tipos de tarefas podem ocorrer em todos os locais.

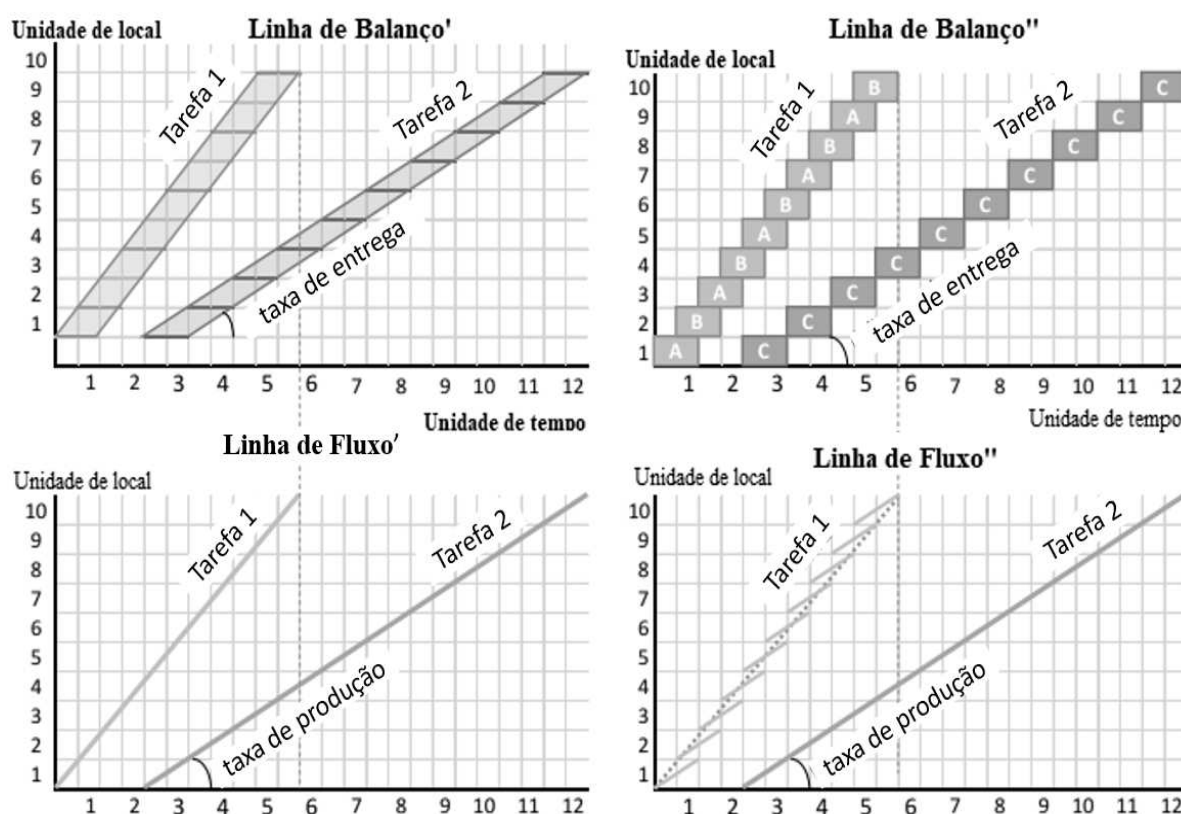


Figura 19: Linha de Balanço e Linha de Fluxo

Fonte: Biotto et al. (2017)

Harris e Ioannou (1998) sintetizam outros doze métodos de planejamento baseado em locais, muitos destes como resultados de amplas pesquisas, desenvolvimento de algoritmos e proposição de aplicativos. Entretanto, nenhum destes aplicativos tornou-se popular o suficiente para fazer frente ao domínio do método baseado em atividade. Isso é confirmado por pesquisas que continuam explorando o planejamento baseado em locais por meio de adaptações no Microsoft Excel (por exemplo TOKDEMIR et al., 2019). Um método abrangente que reúna os benefícios do planejamento baseado em locais fazia-se necessário. O método LBMS, resultado de uma pesquisa de Kenley e Seppänen (2009), preenche os requisitos para ser o principal representante do planejamento baseado em locais. O LBMS é um método mais amplo do que a LDB e a LF (VARGAS; FORMOSO, 2020), já que incorpora aspectos importantes como o fluxo contínuo (BULHÕES, 2009), a estrutura de locais do projeto, ritmo de produção, construção de tarefas, recursos, riscos e *buffers*. A Figura 20 mostra um esquema que resume o processo de planejamento do LBMS. Esses processos são explorados nas próximas seções, bem como a teoria que os suporta.

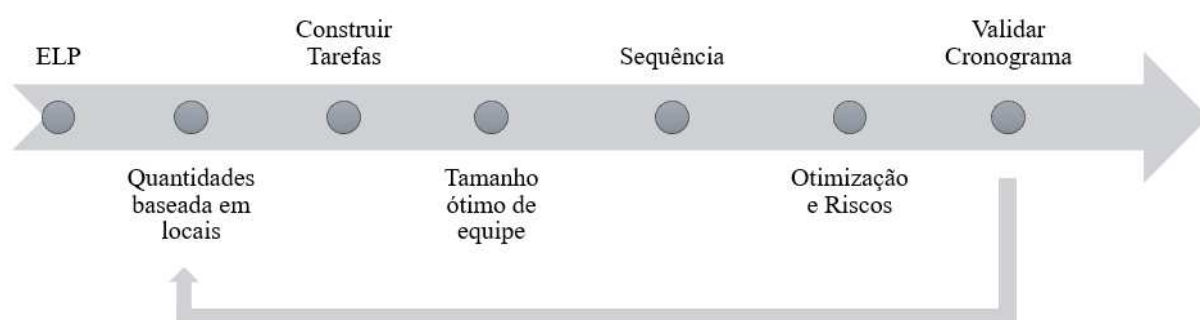


Figura 20: Processo do LBMS

Fonte: adaptado de Kenley e Seppänen (2010)

2.3.2 Estrutura de locais de projeto

A Estrutura de Locais de Projeto (ELP) nesta pesquisa é a tradução de *Location Breakdown Structure* (LBS) (KENLEY; SEPPANEN, 2010). Ela é peça fundamental de todo o sistema de gerenciamento do LBMS; a ELP está para o LBMS assim como a EAP está para o CPM. A construção de uma ELP consiste em decompor o empreendimento em locais menores, em uma escala que seja fácil de monitorar e analisar o seu conteúdo (KENLEY; SEPPANEN, 2010; RECK et al., 2020; VARGAS; FORMOSO, 2020). Os locais definidos deverão ser preferencialmente independentes entre si, ou seja, que possam ser executados em qualquer sequência ou simultaneamente. O objetivo da ELP é dar condições de elaborar um planejamento em que apenas uma tarefa de cada vez é realizada em cada local ou, ainda,

permitir o movimento dos recursos entre os locais sem esperas (BØLVIKEN; ASLESEN; KOSKELA, 2015). A ELP deve também permitir que a equipe conclua o trabalho na totalidade antes de ir para a próxima localidade (SEPPÄNEN; MODRICH; BALLARD, 2015). A ELP deve ser construída de forma que a mesma ELP possa ser usada para planejar as tarefas de diferentes subcontratados (KENLEY; SEPPANEN, 2010).

A ELP deve ter preferencialmente quantidades de trabalho similares entre os locais. Deve-se evitar a delimitação de locais muito grandes, pois, desta forma, aumentariam os riscos e a necessidade de inserção de *buffers*. Locais muito grandes também significam que muitos subcontratados trabalhariam no mesmo local ao mesmo tempo, o que é contrário ao que preconiza o LBMS (SEPPÄNEN; MODRICH; BALLARD, 2015). Diversos autores afirmam que, quanto menores os lotes de trabalho, maiores são os benefícios para o cronograma em termos de fluxo de trabalho ou redução de desperdícios (BØLVIKEN; ASLESEN; KOSKELA, 2015; KENLEY; HARFIELD, 2015; RIOS et al., 2015; SEPPÄNEN; MODRICH; BALLARD, 2015; VALENTE et al., 2013; WARD; MCELWEE, 2007). Entretanto, reduzir muito os lotes de trabalho ou locais pode também trazer algumas complicações. Locais pequenos são difíceis de atribuir para todos subcontratados e não seria possível disponibilizar materiais para cada um dentro destes locais (SEPPÄNEN; MODRICH; BALLARD, 2015). Uma recomendação é que os locais não sejam nem muito grandes nem muito pequenos, mas que possuam complexidades similares. Ou ainda, os locais devem ser pequenos o suficiente, de tal forma que permitam a remoção de *buffers* e a compressão do cronograma (KENLEY; SEPPANEN, 2010).

A ELP respeita tipicamente uma hierarquia, ou seja, o nível mais alto deve conter todos os níveis mais baixos. As Figuras 21 e 22 mostram esquematicamente como essas hierarquias de locais são representadas. Neste exemplo simples, há uma edificação com três pavimentos e quatro apartamentos por andar. O nível 1 é o mais alto e contém todo o nível 2, e este, por sua vez, contém todo o nível 3. Cada nível hierárquico atende diferentes propósitos. Como, por exemplo, a tarefa de concretagem de uma laje a qual é planejada, executada e controlada por pavimento, não deve ser separada, por exemplo, por “unidades do tipo apartamento”, pois geraria um esforço de gestão desnecessário. Já em uma tarefa de acabamento é necessário ter uma precisão maior e, portanto, ela poderia ser planejada e controlada por “unidades do tipo apartamento”. A hierarquia pode ser refinada ainda mais, dividindo-se o apartamento por ambientes como a separação de áreas secas e úmidas ou subir ainda mais o nível como, por exemplo, por grupos de edifícios. Porém, não é aconselhável ter mais do que seis níveis hierárquicos, o ideal é trabalhar apenas com três (BÜCHMANN-SLORUP; ANDERSSON; FUHR PEDERSEN, 2012; KENLEY; SEPPANEN, 2010).

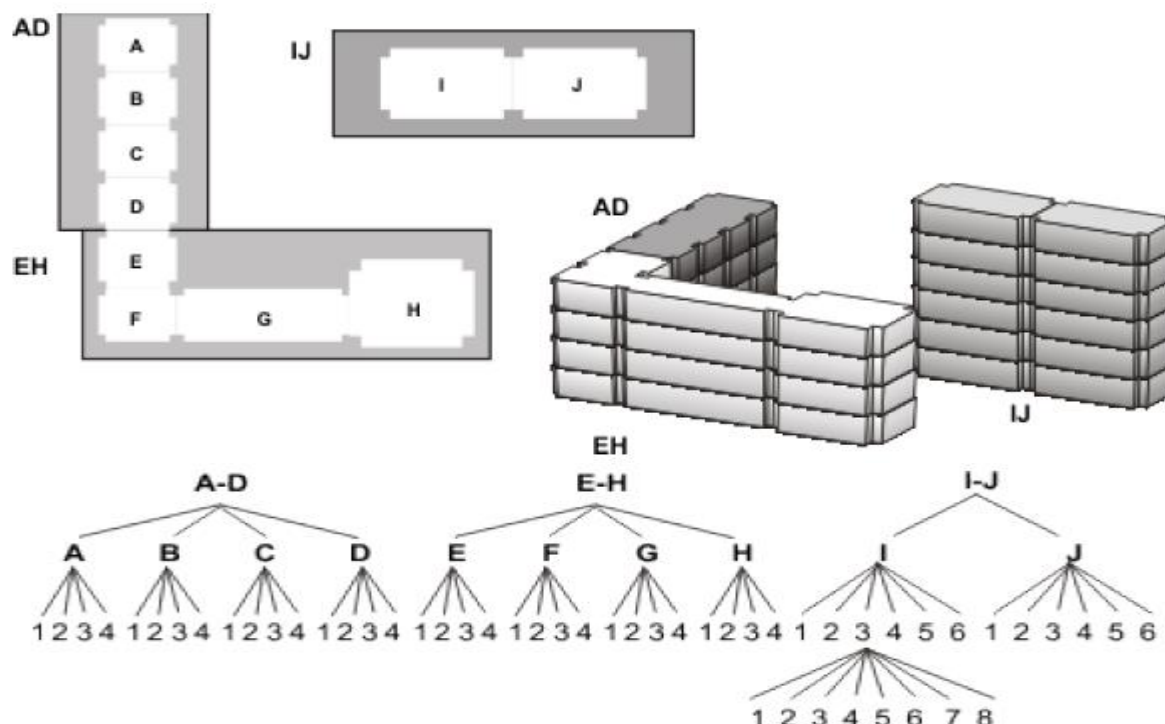


Figura 22: Um típico projeto de construção dividido em uma ELP

Fonte: Kenley e Seppänen (2009)

2.3.3 Quantidades baseadas em locais

As quantidades são de extrema importância ao LBMS em particular para a lógica interna das tarefas. A lista de quantidades define explicitamente todo o trabalho a ser realizado antes que um local seja dado como concluído e a equipe possa continuar para o próximo (KENLEY; SEPPANEN, 2010). Além do mais, a soma de todas as quantidades da obra deve explicitar todo o trabalho para concluir o empreendimento. Essas quantidades serão usadas para que sejam definidos os valores de contrato, para o departamento que irá realizar as aquisições e, eventuais diferenças que possam surgir no futuro, podem até mesmo ser usadas como justificativa para pleitos de aditivo (SEPPÄNEN, 2009). Essas quantidades são alocadas dentro de cada local da ELP.

É função do planejador agrupar as quantidades em pacotes de trabalho, que posteriormente irão se transformar em tarefas, se o trabalho (BÜCHMANN-SLORUP; ANDERSSON; FUHR PEDERSEN, 2012; KENLEY; SEPPANEN, 2010; OLIVERI, 2016; SEPPÄNEN, 2009):

- (i) For possível de ser realizado por uma única equipe;
- (ii) Possuir as mesmas dependências lógicas com outros pacotes de trabalho externos;

As quantidades baseadas em locais são tipicamente apresentadas em tabelas com os locais da ELP formando as suas colunas (SEPPÄNEN, 2009). E essa tabela fará parte do planejamento quando finalizado. As quantidades são muito importantes para o LBMS, pois elas se constituem em uma das variáveis para o cálculo tanto da duração do projeto como de cada tarefa isoladamente. Portanto, é essencial que nada fique de fora desta lista, pois qualquer inserção ou remoção posterior ocasionará um reflexo direto no prazo.

Os projetos podem conter informações escassas, dependendo da fase em que se encontra o seu desenvolvimento. Mesmo com essa falta, as quantidades devem ser estimadas com base nas informações disponíveis. A falta de informações deve estar bem evidente no cronograma e deve ser atualizada assim que os projetos ficarem prontos e as informações disponíveis.

2.3.4 Recursos

A estimativa de recursos considera a mão de obra necessária para realizar o trabalho, bem como fornecedores de materiais e equipamentos. Os recursos devem possuir um calendário de trabalho, o período disponível para o projeto deve ser claro e o impacto dos mesmos sobre as reais necessidades das atividades e locais deve ser analisado (OLIVIERI, 2016). Os recursos podem ser diretos, atuando em atividades que agregam valor, ou indiretos, em atividades de logística e limpeza. O fornecimento de mão de obra pode ser no formato de contratação direta pelo administrador ou no formato de subcontratação.

Uma das informações mais importantes a respeito dos recursos é a taxa em que cada um produz determinado serviço. A taxa de produção indica qual é a quantidade de trabalho é produzida em um determinado período. Essa taxa pode vir de banco de dados externos (CAIXA, 2020; TCPO, 2010) mas é preferível que haja um histórico médio de produção dentro da empresa ou até mesmo dados coletados do mesmo recurso que será alocado (KENLEY; SEPPANEN, 2010). A taxa de produção do recurso não deve ser confundida com a taxa de produção da unidade (HARRIS; IOANNOU, 1998). Um exemplo de taxa de produção do recurso é um pedreiro que produz dois metros quadrados de alvenaria em uma hora ($2 \text{ m}^2/\text{Hh}$). Um exemplo de taxa de produção da unidade é que um metro quadrado de alvenaria precisa de meia hora de pedreiro para ser executada ($0,5 \text{ Hh}/\text{m}^2$).

2.3.5 Construção de tarefas

A tarefa é representada por uma linha inclinada no diagrama do LBMS. Essa linha representa o trabalho progredindo de local para local em função do tempo (IOANNOU; YANG, 2016). Por definição, uma tarefa é um conjunto de informações, as quais referem-se ao ritmo de produção, em particular recursos de mão de obra, ao tempo e custos. A tarefa é a agregação de todas as atividades similares formando um feixe único e que se repetem em múltiplos locais e pode ser executada pela mesma equipe (IOANNOU; YANG, 2016; KENLEY; SEPPANEN, 2010). A inclinação da linha no diagrama representa a taxa produção da tarefa. A tarefa pode evoluir mais rapidamente, se mais recursos forem adicionados, ou mais lentamente, se recursos forem removidos. (ARDITI; SIKANGWAN; TOKDEMIR, 2002; LUMSDEN, 1968).

A quantidade de Hh necessária para realizar uma tarefa em um determinado local é a quantidade de trabalho no local vezes a taxa de produção do recurso que realizará esse trabalho, somando-se todos os itens dessa tarefa. O total de Hh da tarefa é dada pela Equação 5 abaixo (KENLEY; SEPPANEN, 2010).

$$h_j = \sum_{i=1}^{i=n} (Q_{i,j} \times R_{i,j}) \quad (5)$$

Onde:

h_j = Total de horas em um local j

$Q_{i,j}$ = A quantidade do item i em um local j

$R_{i,j}$ = A taxa de produção do recurso para o item i em local j

n = é o número de itens dentro da tarefa i

A quantidade total de Hh de uma tarefa representa, em teoria, a duração que ela se estenderia se houvesse apenas um único recurso alocado. Entretanto são raras as ocasiões que isso ocorre, pois, equipes são constituídas por uma composição de ajudantes, oficiais ou tempo de equipamento aplicado. Nessa quantidade total de Hh há também o tempo para realizar atividades como transporte de material e preparação, a realização da tarefa em si e a limpeza e desmobilização do local. Essas atividades dentro da tarefa não estão necessariamente ligadas em série. O planejador é responsável por definir esse arranjo ideal. A Figura 24 apresenta um exemplo de uma tarefa, cuja composição da equipe é de quatro oficiais e dois ajudantes. Os quatro oficiais trabalham durante uma jornada de oito horas, mas apenas seis são produtivas,

pois na primeira hora do dia o material ainda está sendo transportado e no final do dia a tarefa foi concluída antes do final da jornada e o espaço foi cedido para equipe de limpeza.

Neste exemplo, o total é de 32 Hh de oficiais e 16 Hh de ajudante. Esses valores são utilizados para compor o custo da tarefa. Entretanto, o cronograma deve utilizar apenas as horas de atividades que agregam valor. As atividades que agregam valor dentro desta tarefa são executadas pelos dois ajudantes na primeira e na última hora do dia e as seis horas de produção dos quatro oficiais, em um total de 4 e 24 Hh, respectivamente. Os recursos materiais não interferem nas horas necessárias para execução. Se o exemplo fosse um serviço de escavação a mão de obra seria zero e a tarefa iria conter a informação de horas necessárias de caminhão para executar uma quantidade de metros cúbicos de escavação. Se o exemplo fosse uma obra com peças pré-fabricadas, o total de trabalho iria mesclar as horas de mão de obra e horas de grua, por exemplo.

Recurso x Tempo	07:00 08:00	08:00 09:00	09:00 10:00	10:00 11:00	11:00 12:00	12:00 13:00	13:00 14:00	14:00 15:00	15:00 16:00
Oficial 1	SP	CP	CP	CP	INTERVALO	CP	CP	CP	SP
Oficial 2	SP	CP	CP	CP		CP	CP	CP	SP
Oficial 3	SP	CP	CP	CP		CP	CP	CP	SP
Oficial 4	SP	CP	CP	CP		CP	CP	CP	SP
Ajudante 1	T	T	T	T		T	T	L	L
Ajudante 2	T	T	T	L		L	L	L	L

SP	Oficial sem produção
CP	Oficial com produção
T	Ajudante em atividade de transporte
L	Ajudante em atividade de limpeza

Figura 24: Tempo de recursos alocados em uma tarefa

Fonte: o autor

O objetivo principal do cálculo de Hh necessário para uma tarefa é definir a taxa de produção. A taxa de produção informa quantos Hh da equipe são necessários para executar uma unidade fundamental de produção determinada na ELP, seja metros quadrados, metros cúbicos, quilogramas, entre outras. A partir dessa taxa de produção, o dimensionamento da equipe ou equipes é determinado. O dimensionamento deve ter um tamanho “ótimo” (otimizado). A equipe não deve ser muito grande, tendo em vista o tamanho do espaço físico disponível na ELP e permitir o gerenciamento adequado. A equipe também não deve ser muito pequena para

não tornar a tarefa com uma duração muito diferente da antecessora ou da sucessora. A “equipe ótima” promove o “ritmo ótimo” da tarefa, ou seja, promove sincronia com as demais tarefas.

A duração da tarefa é diretamente proporcional à quantidade de trabalho da tarefa, ao tamanho da jornada de trabalho e inversamente proporcional ao tamanho e produtividade da equipe. A duração está sintetizada na equação 6 abaixo.

$$D_j = \left(\frac{h_j}{\sum_{i=1}^n P_{i,j}} \right) \div h \times d_j \quad (6)$$

Onde:

D_j = A duração em número de jornadas de trabalho em um local j

h_j = Total de Hh de uma tarefa em um local j

$P_{i,j}$ = Taxa de produção de um item i da tarefa em um local j

n = Número de itens dentro da tarefa i

h = Total de horas em uma jornada de trabalho (por exemplo: 8 horas)

d_j = Fator de dificuldade em um local j

Por padrão, o fator de dificuldade aplicado no final da fórmula é igual a um, o que representa que não há dificuldade específica na tarefa ou no local. A duração pode ser dilatada aplicando um coeficiente maior, ou reduzida com coeficiente menor. *Buffers* ou otimização através da curva de aprendizado podem ser motivos para inserir coeficientes diferentes de um. Esse assunto será abordado mais adiante nesta dissertação.

As quantidades, equipes e taxas de produção podem variar entre os diferentes locais. A inclinação da linha que representa a tarefa no LBMS pode mudar de local para local. Isso é um reflexo de mudanças na quantidade de trabalho, alteração no tamanho da equipe ou diferença na taxa de produção, causada, por exemplo, por dificuldades de acesso. A Figura 25 apresenta um exemplo de cronograma com três tarefas. A Tarefa 1 possui quantidades de trabalho iguais em todos os locais, os recursos são constantes em todo o período de execução, a inclinação da linha permanece igual. Na Tarefa 2 os recursos são constantes, mas as quantidades variam de local para local, portanto a inclinação varia proporcional ao trabalho de cada local. Já na tarefa 3 as quantidades variam, mas os recursos aumentam e diminuem conforme a necessidade para forçar a tarefa ter uma única inclinação do início ao fim. Mobilizar e desmobilizar recursos durante a execução de uma tarefa envolve risco pois deve ser muito bem alinhado com os subcontratados.

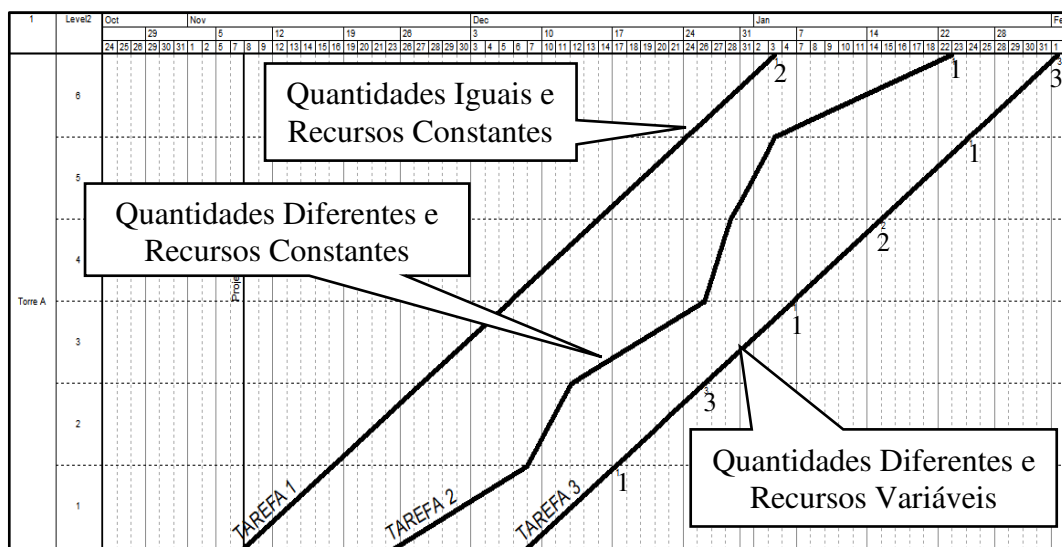


Figura 25: Tarefas com variação de quantidades e recursos

Fonte: o autor

Os tipos de tarefas podem ser classificados da seguinte forma (RUSSELL; UDAIPURWALA; WONG, 2003; RUSSELL; WONG, 1993):

- (i) **Contínua:** Executada em uma sequência específica de locais e com requerida continuidade;
- (ii) **Ordenada:** Executada em uma sequência específica de locais, mas pode ser interruptiva;
- (iii) **Sombra:** Trabalho que pode ser executado em qualquer sequência, o qual pode ser interrompido ou executado simultaneamente, sem limite de recursos; não há vínculo entre locais;
- (iv) **Cíclica:** O trabalho ocorre em uma sequência de locais, entretanto o início da tarefa no local seguinte só é liberado quando uma atividade sucessora concluir o trabalho no local anterior. Por exemplo, o trabalho de carpintaria em uma estrutura moldada *in loco* é finalizado, mas só pode avançar para o próximo pavimento quanto a tarefa de concretagem do local (onde a carpintaria havia finalizado) for concluída, assim a carpintaria constitui uma tarefa cíclica;
- (v) **Não repetitiva:** Atividades únicas e individuais.

Kenley e Seppänen (2010) apresentam ainda os seguintes conceitos relacionados às tarefas no LBMS:

- (i) **Marco de Início e Fim:** Atividade fictícia e sem duração que marca o início ou o fim de um evento;

- (ii) **Tarefas Detalhadas:** Detalhamento de uma atividade dentro do local;
- (iii) **Tarefa Resumo:** Agrupamento de tarefas independente da lógica ou estrutura hierárquica.

As quantidades do ELP definem o escopo e o local para a tarefa. Portanto, cada tarefa pertence a um dos níveis hierárquicos da ELP (KENLEY; SEPPANEN, 2010). Além de escopo de local, as tarefas devem ter as seguintes propriedades: tempo em cada local, validação de disponibilidade dos recursos, calendário dos recursos, código de responsabilidade, associação com o produto, custo, métodos de como construir, datas e folgas para cenários mais cedo e mais tarde (RUSSELL; UDAIPURWALA; WONG, 2003). O planejador deve determinar se a tarefa vai avançar de forma contínua, atuar no formato de início “assim que possível” ou ainda se terá datas de início e término fixas inseridas manualmente. Essas restrições dependem dos recursos utilizados.

2.3.6 Sequenciamento das tarefas

Assim como no CPM, as tarefas são sequenciadas através de vínculos, que no LBMS são chamados de *layers*. Uma das diferenças entre os vínculos do CPM e os *layers* do LBMS é que no LBMS a relação pode ser inserida não apenas entre tarefas diferentes, mas também entre tarefa e um local. Existem cinco tipos de *layers* (KENLEY; SEPPANEN, 2010):

- (i) **Layer 1:** Exemplificado na Figura 26. A Tarefa 1 deve ser concluída antes da Tarefa 2 iniciar em um mesmo local. A leitura do diagrama da figura é feita na horizontal e cada local analisado separadamente. Percebe-se que a Tarefa 2 só inicia quando a Tarefa 1 estiver concluída; a equipe mudou para o próximo local e liberou o anterior. É um *layer* entre tarefas e similar ao vínculo término-início do CPM, mas com a associação com o local de trabalho, o que permite identificar interferências de forma antecipada. Quando se vincula as duas tarefas através do *layer* 1, essa restrição é replicada para todos os locais do projeto por onde essas tarefas passam. Esse *layer* é aplicado em qualquer tarefa que possua uma sequência técnica lógica, por exemplo, o chapisco seguido do emboço ou a execução de contrapiso seguido de assentamento de piso cerâmico;
- (ii) **Layer 2:** Exemplificado na Figura 27. A Tarefa 1 deve ser concluída antes da Tarefa 2 iniciar, porém em locais diferentes. Por exemplo, pode ser restringida a instalação de paredes de gesso acartonado em pavimentos inferiores enquanto não for executada a impermeabilização da cobertura, sob o risco de a chuva danificar das

placas. É similar ao *layer 1*, entretanto a leitura do diagrama não é exclusivamente horizontal, leva-se em conta os locais adjacentes;

- (iii) **Layer 3:** Exemplificado na Figura 28. A equipe é desmobilizada de um determinado local e desloca-se para o próximo apenas quando concluir o primeiro. Por exemplo, só é autorizado o início da alvenaria do segundo pavimento quando concluir a do primeiro pavimento. É uma dependência interna da tarefa, ou seja, não sofre interferência de outras tarefas ou locais. Esse *layer* previne uma prática comum no canteiro de obra em que um subcontratado inicia o trabalho no próximo local e atrasa a entrega do local anterior, ficando ambos os pavimentos sendo executados em paralelo. Esse *layer* pode ser associado aos conceitos de terminalidade das tarefas (GERMANO, 2018; LEÃO, 2014);
- (iv) **Layer 4:** Exemplificado na Figura 29. Também conhecidos como *lag*, ou retardo. Ele é usado quando for necessário atrasar ou retardar o início de uma tarefa propositalmente. Esse *layer* se assemelha com o conceito de latência do CPM. Ele pode ser inserido de duas formas: como *lag* de tempo ou como *lag* de local. Por exemplo, supondo que na Figura 29 a Tarefa 1 é a estrutura de concreto moldada *in loco*, e a Tarefa 2 é a alvenaria. A alvenaria deve ser iniciada apenas 28 dias após a concretagem (*lag* de tempo, seta horizontal no digrama) e também deve existir 4 pavimentos concretados acima deste (*lag* de local, seta vertical no diagrama), requisitos esses para a remoção do escoramento;
- (v) **Layer 5:** Exemplificado na Figura 30. Esse é o vínculo com o mesmo conceito do CPM, pode ser usado em qualquer tarefa e em qualquer lugar. Ele é usado em circunstâncias especiais onde não é possível o uso dos *layers* anteriores, por isso ele é raramente usado no LBMS. Essas circunstâncias podem ser vínculos externos à ELP, ou podem servir para fazer a ligação entre diferentes ELP.

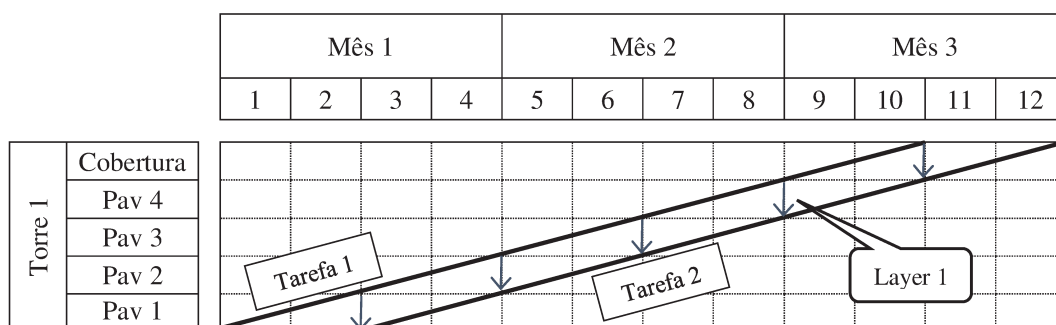


Figura 26: *Layer 1*

Fonte: o autor

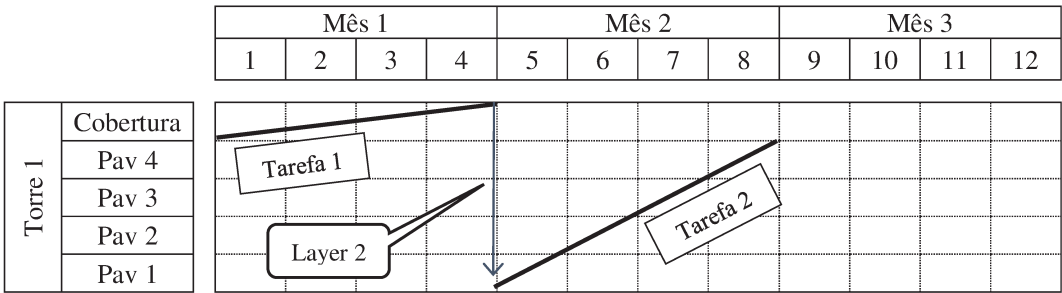


Figura 27: *Layer 2*

Fonte: o autor

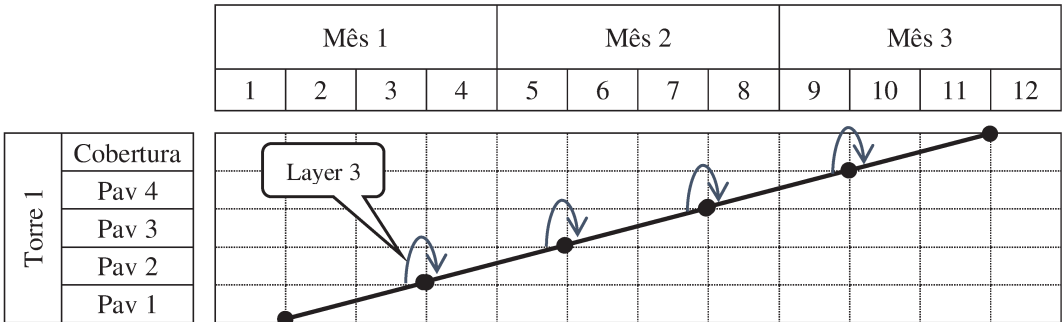


Figura 28: *Layer 3*

Fonte: o autor

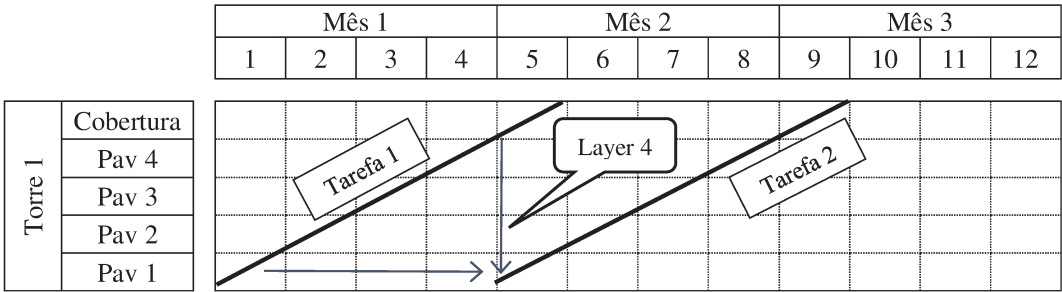


Figura 29: *Layer 4*

Fonte: o autor

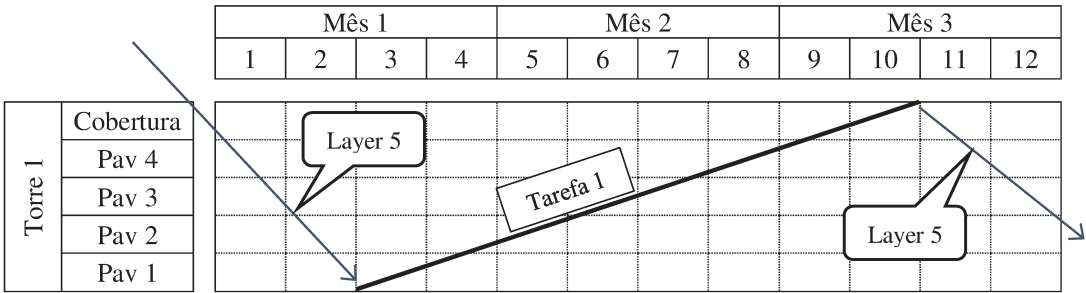


Figura 30: *Layer 5*

Fonte: o autor

Não existe hierarquia entre os diferentes *layers*. As tarefas devem obedecê-los de forma igualitária, sem preferências por um ou outro.

2.3.7 Otimização do cronograma

Após a elaboração da ELP, a quantificação do trabalho, a construção das tarefas, inclusão de recursos necessários e sequenciamento, pode-se dizer que está pronta a primeira versão do planejamento podendo o mesmo ser representado em diagrama de linhas de fluxo. Entretanto, é muito provável que o cronograma ainda contenha perdas incorporadas, sem garantia de fluxo adequado de equipes ou até mesmo extrapolando a data de entrega esperada do projeto. Para resolver esses problemas, o cronograma precisa ser comprimido e otimizado.

2.3.7.1 Otimização do ritmo de produção

Entende-se por ritmo de produção a inclinação da reta que representa a tarefa no diagrama de linha de fluxo (YASSINE et al., 2014). Uma linha mais verticalizada indica uma tarefa que realiza todo o trabalho em menos tempo, enquanto uma linha com um ângulo menor necessita de mais tempo para ser realizada. Um cronograma onde as tarefas possuem ritmos similares tende a apresentar menos perdas. Já em cronogramas com ritmos diferentes, a linha de fluxo evidencia as perdas ocasionadas por essa incompatibilização de ritmos. A Figura 31 apresenta três tarefas com ritmos diferentes, a primeira e a terceira são as mais rápidas e a segunda mais lenta. Esses espaços vazios no diagrama, representados pelos dois triângulos, são locais em que a tarefa anterior já foi executada e o local está sem tarefas em execução, apenas aguardando para iniciar a próxima. Essa ociosidade do espaço é um exemplo claro de perda segundo a filosofia *lean*. O LBMS procura eliminar situações de trabalhadores aguardando trabalho, bem como as de trabalho aguardando trabalhadores (SEPPÄNEN, 2014).

Quando não há balanceamento do ritmo entre as tarefas, o tempo de construção é determinado pela produção mais lenta, portanto essa tarefa torna-se crítica (BÜCHMANN-SLORUP; ANDERSSON; FUHR PEDERSEN, 2012). Essa declaração pode ser confirmada também em cronogramas mais complexos. Deve-se, portanto, iniciar a otimização de ritmos preferencialmente nas tarefas mais lentas melhorando os seus ritmos de produção. A Figura 32 mostra o mesmo exemplo da Figura 31, porém com o ritmo das tarefas 1 e 3 otimizados para um ritmo igual ao da tarefa 2.

de o subcontratado não mobilizar recursos além da sua capacidade. Mais recursos exigem maior supervisão ou a produtividade também pode cair. Atividades complementares precisarão igualmente se adequar ao novo ritmo como procedimentos de contratação, entrega de projetos e especificações, logística de entrega de material, entre outros;

- (ii) **Alterando quantidade de escopo:** com menos trabalho dentro da tarefa, a mesma equipe pode executá-la em menos tempo. Se possível, esse trabalho removido pode ser inserido em uma tarefa posterior em que haja um impacto menor no cronograma. Alterações de escopo também guardam relação com o uso de tecnologias diferentes como, por exemplo, *kits* de hidráulica montados previamente. Se a concepção do trabalho da tarefa alterar muito, pode ser necessário voltar até a etapa de formulação das quantidades dentro da ELP;

O objetivo de buscar ritmos iguais entre as tarefas aproxima-se do conceito do tempo *takt*. O planejamento por meio do tempo *takt* é realizado a partir da taxa de entrega demandada pelo cliente. O tempo *takt* exige que cada tarefa tenha a taxa de produção balanceada a fim de não acumularem estoques, perdas ou locais aguardando trabalho entre as tarefas (HOPP; SPEARMAN, 2008). A diferença entre o LBMS e o planejamento por meio do tempo *takt* é que no LBMS é permitida uma variação das durações entre as tarefas e entre os diferentes locais, já no tempo *takt* a duração deve ser idêntica em todas as tarefas em todos os locais (LINNIK; BERGHEDE; BALLARD, 2013).

2.3.7.2 Otimização da sequência de produção

Alterar a sequência construtiva ou alterar os *layers* de ligação entre tarefas e locais pode resultar em um cronograma mais comprimido. Nessa etapa, são feitos ajustes na ordem da ELP. Os locais listados no eixo vertical do diagrama podem se inverter, de forma que tragam algum benefício para o conjunto, por exemplo, na redução de tempo de deslocamento de equipes, materiais e equipamentos entre os locais. Os *layer* são criados geralmente por questões de logística ou com relação à qualidade. Essas restrições impostas nem sempre são obrigatórias e podem ser alteradas (KENLEY; SEPPANEN, 2010).

Locais muito grandes podem ser divididos em locais menores. Um local muito grande na ELP pode gerar dificuldades, em especial quando as tarefas desse local se relacionarem com outras através do *layer* 1. A tarefa predecessora muitas vezes não está ocupando todo o local nos últimos períodos da execução. Neste caso, o planejamento poderia considerar parte desse local para a tarefa sucessora iniciar. Por esse motivo, o *layer* 1 não deve

ser usado deliberadamente, devendo-se observar em especial os locais maiores. A divisão de áreas de concretagem de estrutura em duas fases é um exemplo dessa otimização, porém, ela é efetiva quando a fase antecipada cria frentes de trabalho para tarefas sucessoras.

Na construção, algumas sequências de tarefas são puramente lógicas, por exemplo a estrutura é executada após a conclusão da fundação. Entretanto, em alguns casos, o planejador recorre a uma abordagem heurística baseada na experiência e intuição (LEE et al., 2018). O planejador deve perguntar-se se faz mesmo sentido manter a execução das tarefas nessa sequência ou qual benefício poderia ser obtido com uma inversão de sequência. Por exemplo, pode parecer lógico executar um forro de gesso antes do revestimento do piso, mas se essa obrigação de sequência estiver impactando o cronograma negativamente em termos de prazo, é possível romper esse vínculo entre as tarefas. Esse benefício traz risco ao projeto, pois a execução do forro em cima do piso pronto pode danificá-lo. Em resposta a esse risco, pode-se alterar a tarefa de execução de forro, executando-se uma proteção de piso antes da montagem de andaimes. O planejador deve avaliar se os benefícios trazidos ao cronograma valem a pena ao se assumir esses riscos.

Existem casos em que a tarefa predecessora não existe em todos os locais da ELP. Isso pode prejudicar a tarefa sucessora caso a obrigue a aguardar. Para esses casos, a sequência de locais para execução deve ser priorizada para tarefas que percorram todos os locais (KENLEY; SEPPANEN, 2010).

2.3.7.3 Dividindo tarefas

Dividir uma tarefa consiste em deliberadamente decompor a tarefa em mais segmentos. Tarefas precisam ser divididas quando possuem um ritmo muito lento e não é possível acelerá-las utilizando-se os procedimentos já apresentados. Dividir uma tarefa permite que a mesma possa ser executada simultaneamente em locais diferentes (KENLEY; SEPPANEN, 2010). A Figura 33 é a versão da Figura 31 otimizada através da divisão das tarefas 1 e 3. Na tarefa 1, os locais 1 e 2 são executados ao mesmo tempo e ao concluírem os recursos movem-se para os locais 3 e 4, e, por sua vez quando concluírem iniciam os locais 5 e 6. Essa divisão permite que a tarefa 2 inicie mais cedo. A tarefa 3 foi dividida em duas partes onde a primeira iniciou assim que o primeiro local foi liberado e a segunda equipe iniciou assim que o quarto local foi liberado. Esse procedimento permite que o projeto seja concluído antecipadamente.

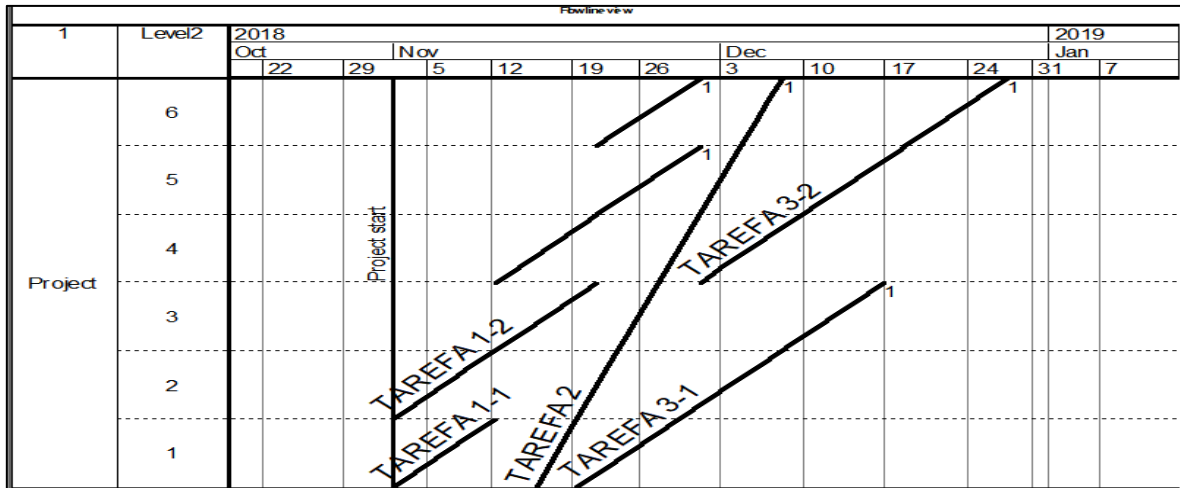


Figura 33: Divisão das tarefas em segmentos menores

Fonte: o autor

2.3.7.4 Quebra da continuidade da tarefa

Uma alternativa é interromper uma tarefa deixando-a descontínua. Isso é necessário quando uma tarefa é demasiadamente rápida e obrigá-la a permanecer contínua faria com que ela se iniciasse mais tarde e a tarefa sucessora atrasasse (KENLEY; SEPPANEN, 2010). No mesmo exemplo da Figura 30, a Figura 34 mostra como o diagrama se altera, aplicando-se a descontinuidade na tarefa 2. O parâmetro da tarefa 2 foi alterado de “contínua” para “início assim que possível”. Esse procedimento reduziu a duração total do projeto e eliminou os desperdícios dos espaços vazios do diagrama. Entretanto, surge um novo desperdício: ao se concluir a tarefa em um determinado local, a equipe fica ociosa até liberar o próximo. Durante esse tempo ocioso, a equipe pode ser mobilizada para executar tarefas reserva (*workable backlog*). Esse conceito será apresentado adiante nessa dissertação.

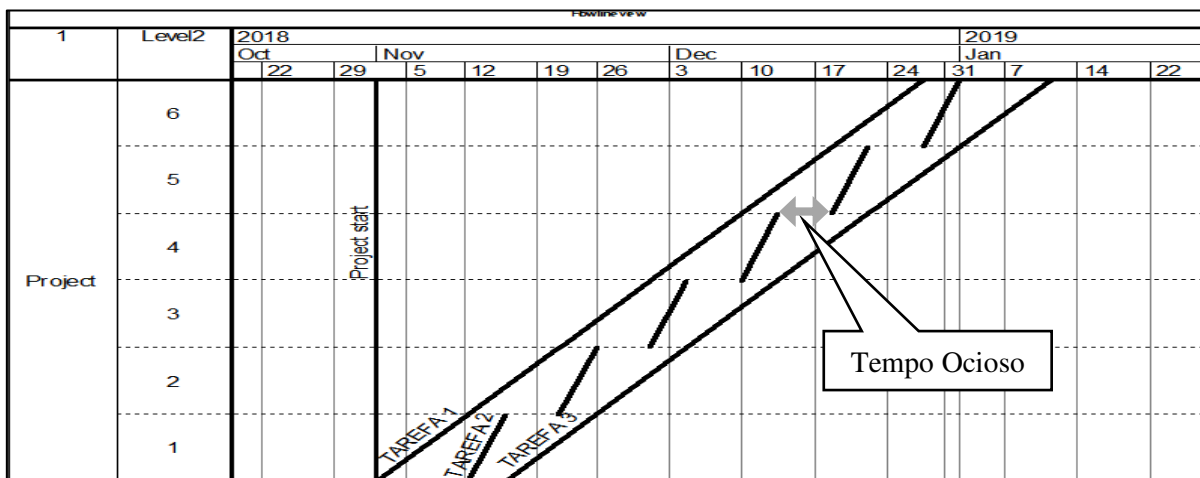


Figura 34: Tempo ocioso causado pela descontinuidade dos recursos

Fonte: o autor

2.3.8 Riscos e *Buffers*

Um cronograma, por ser uma ferramenta que procura fazer uma representação de eventos que ainda acontecerão, é caracterizado por incertezas. E essas incertezas podem promover variabilidade nas durações e nos resultados do projeto. As incertezas do cronograma, segundo Kenley e Seppänen (2010), são:

- (i) **Incerteza relacionada aos pré-requisitos da produção:** é aquele relativo a eventos que ocorrem antes da tarefa iniciar no local, como por exemplo: contratações, suprimentos, entregas de material, se a equipe da tarefa antecessora entrega o local limpo;
- (ii) **Incerteza relacionada às mobilizações:** é o risco de a equipe não mobilizar no dia exato em que foi planejado. Quanto mais vezes houver mobilizações e desmobilizações, mesmo que planejadas, maior será o risco. Se uma equipe ficar sem trabalho, também existe o risco de ela ter que sair do canteiro de obras por motivo de ociosidade;
- (iii) **Incerteza relacionada ao ritmo de produção:** é o risco de a equipe não atingir o desempenho esperado. É quando o ritmo de produção fica abaixo dos índices extraídos do banco de dados utilizados para se criar a tarefa;
- (iv) **Incerteza relacionada às quantidades:** pode ocorrer através de modificações de projetos ou erros durante o levantamento quantitativo;
- (v) **Incerteza relacionada à disponibilidade de recursos:** o plano deve conter, preferencialmente, o mínimo de recursos necessários durante a permanência da equipe no canteiro, evitando-se os picos de recursos alocados. Oscilação do número de recursos é um risco, pois ele depende da capacidade da subcontratada;
- (vi) **Incerteza relacionada ao local:** locais com a mesma quantidade de trabalho e recursos podem ter desempenhos diferentes, caso um dos locais tenha um acesso comparativamente mais difícil;
- (vii) **Incerteza relacionada à qualidade:** envolve o risco de retrabalho;
- (viii) **Incerteza relacionada às condições meteorológicas:** algumas tarefas sofrem mais impactos pelas condições climáticas do que outras. A produtividade pode aumentar, diminuir ou até mesmo zerar, de acordo com o clima.

Muitos estudos sugerem o uso de *buffers* para proteger o projeto da variabilidade e incertezas das durações (ALVES; TOMMELEIN, 2004; GONZALEZ; ALARCON, 2009;

GUPTA; GONZALEZ; MILLER, 2012; POSHDAR; GONZÁLEZ; BELAYUTHAM, 2015; SAKAMOTO; HORMAN; THOMAS, 2002; SRISUWANRAT; IOANNOU, 2007). O uso de *buffers* é o artifício que a indústria tem utilizado para dar conta da complexidade e dinamismo das construções (BERTELSEN; KOSKELA, 2005). Eles são entendidos como “recursos amortecedores”, por exemplo, tempo, custo ou espaço físico (ALVES; TOMMELEIN, 2004). No LBMS, os *buffers* são representados pelos espaços vazios do diagrama. Estes espaços adicionais servem para absorver distúrbios entre duas tarefas como um componente da conexão lógica entre elas (SEPPÄNEN, 2014). Os *buffers* se diferem pelo tipo, local de aplicação e tamanho. Os tipos de *buffers* encontrados na literatura são:

- (i) **Buffer de Tempo:** É o período entre duas tarefas numa mesma localização, enquanto nada é produzido nesta. Neste caso, a leitura da linha de fluxo do LBMS é feita na horizontal (KENLEY; SEPPANEN, 2010). Ou ainda, como um tempo adicionado para atrasar propositalmente o início de uma tarefa com o intuito de dar continuidade à mesma, ou para aguardar a disponibilidade do recurso (SRISUWANRAT; IOANNOU, 2007);
- (ii) **Buffer de Inventário:** Pode ser caracterizado de acordo com a posição e o propósito na cadeia de suprimentos. De acordo com a posição, pode ser matéria-prima, trabalho em progresso ou produtos acabados. De acordo com o propósito pode ser a categorização como pulmão, estoque de segurança ou estoque de expedição (ALVES; TOMMELEIN, 2004). No LBMS, esse *buffer* é o número de espaços vazios na sequência de produção entre duas tarefas. A leitura no diagrama é feita na vertical (KENLEY; SEPPANEN, 2010);
- (iii) **Buffer de Planejamento:** São tarefas ou atividades “reservas”. Elas são usadas quando a tarefa principal planejada não possa ser executada e as equipes estão disponíveis (ALVES; TOMMELEIN, 2004; BALLARD; HOWELL, 1995). No LBMS, esse tipo de *buffer* é similar ao conceito de *workable backlog* (KENLEY; SEPPANEN, 2010);
- (iv) **Buffer de Capacidade:** é relacionado ao ambiente de produção, como, por exemplo, condições e acessos do canteiro, máquinas disponíveis, entre outros (ALVES; TOMMELEIN, 2004). Esse *buffer* é utilizado quando se compromete a executar menos trabalho do que a capacidade de produção da equipe. Se a produção atrasar, há capacidade disponível para recuperação (LCI, 2017). Ou pode ser entendido ainda como um tempo adicionado diretamente na atividade, como uma prevenção da variação da taxa de produção (HOPP; SPEARMAN, 2008);

- (v) **Buffer Financeiro:** Contingência de custos, que tem o objetivo de prevenir o risco de prováveis aumentos acima da orçamento estimado (BARRAZA; BUENO, 2007).

A filosofia *lean* objetiva a eliminação de estoques, e apoia a ideia de que se deve manter apenas um mínimo necessário como precaução contra eventos inesperados que possam parar a produção (SHINGO, 1989). Por esse motivo, a utilização de *buffers* é criticada nesta filosofia. Entretanto, em determinadas circunstâncias, o planejador acaba tendo que optar entre ter estoque maior ou promover o fluxo contínuo de trabalho. Por esse motivo, é preferível se conviver com *buffers* de capacidade do que de inventário (LCI, 2017). A regra geral é a de que o tamanho do *buffer* é função da variação da predecessora, da dependência do subcontratado e da folga total da tarefa no local (KENLEY; SEPPANEN, 2010).

Planejadores tendem a exagerar na inserção de *buffers* em seus planos. *Buffers* superdimensionados são inseridos equivocadamente, quando não se tem domínio completo sobre as variáveis que causam incerteza e consequentemente o projeto tende a ter mais perdas (DESCHAMPS et al., 2015). Russell et al. (2012) investigaram quais são os motivos mais frequentes e quais possuem maiores impactos no cronograma causados por esse comportamento. Entre 47 motivos em potencial, os 12 principais encontrados na investigação estão resumidos no Quadro 2. E quando Russell (2014) compara os motivos dos *buffers* com as reais variações durante o projeto, percebe-se que os desvios estão mais associados com: a qualidade dos documentos, a construtibilidade, o clima, os pré-requisitos do trabalho e as requisição de informações (RUSSELL et al., 2014).

O conceito de *buffer* é diferente de *lag*, *lead time*, ou tempo de latência, pois, ao contrário do *buffer*, estas são durações fixas exigidas através de uma conexão lógica e geralmente trata-se como uma exigência técnica (KENLEY; SEPPANEN, 2010). Por exemplo, a execução de um piso de concreto aguardando o tempo de cura ou prazo para retirada de escoramento da estrutura contém períodos conhecidos, há poucas incertezas relacionadas a esses aspectos, e, portanto, a duração é fixa. Entretanto, alguns autores entendem que essas folgas também podem funcionar como se fossem *buffers* (BALLARD; HOWELL, 1995; YANG, 2002), pois estariam dando tempo para remover restrições e incertezas para a tarefa sucessora. Da mesma forma, a inserção de um período de tempo logo após a execução de uma tarefa para efetuar a limpeza da área ou para inspeções de qualidade é considerado um bom uso de *buffers* (KENLEY; SEPPANEN, 2010).

O uso de *buffers* traz muitas vantagens. Eles protegem o trabalho do projeto no nível da atividade, cada trabalho é preenchido pelas diferenças de desempenho e de meta. O uso de *buffers* faz com que a duração da tarefa ou do projeto aumente, entretanto, trata-se de um aumento com embasamento e propósito, o que torna o cronograma mais consistente e seguro (LUMSDEN, 1968). Um bom planejamento está ligado a realizar uma obra com segurança e com bom controle de qualidade. Portanto, um bom uso de *buffers* está ligado a proteger a produção e permitir um tempo para esses processos de qualidade, inspeções e testes (KENLEY; SEPPANEN, 2010). O Quadro 3 apresenta instruções de quando um *buffer* deve ser maior ou menor.

Quadro 2: Causas de *buffers*

As 12 causas de <i>buffer</i> mais frequentes	As 12 causas de <i>buffer</i> mais severas
1. Complexidade do projeto	1. Qualidade dos documentos
2. Complexidade da frente da tarefa	2. Complexidade do projeto
3. Qualidade dos documentos	3. Complexidade da frente da tarefa
4. Tamanho do projeto	4. Tendências de alteração de escopo
5. Coordenação exigida com outras tarefas	5. Clima
6. Período de contrato	6. Construtibilidade
7. Construtibilidade	7. Tamanho do projeto
8. Tendências de alteração de escopo	8. Acesso à área de trabalho
9. Distância de transferência de materiais	9. Requerimento de especificações rigorosas
10. Método de transferência de materiais	10. Requerimentos para controle de qualidade
11. Acesso à área de trabalho	11. Baixo grau de repetição
12. Clima	12. Atraso de materiais

Fonte: Russell et al. (2012)

Quadro 3: Tamanho de *buffers*

Os <i>buffers</i> devem ser maiores se:	Os <i>buffers</i> serão menores se:
1. A predecessora tem uma variação grande	1. A predecessora tiver pouca variabilidade
2. O trabalho é planejado para ser realizado continuamente	2. O trabalho for planejado com pontos de parada
3. O subcontratado não é conhecido	3. O subcontratado é conhecido ou o projeto for importante para o subcontratado
4. O subcontratado tem muito trabalho em outros projetos	4. A tarefa for realizada por equipe própria, que estaria no canteiro de qualquer forma
5. Os locais são pequenos	5. O trabalho for realizado por equipe multidisciplinares
6. A tarefa tem pouca ou nenhuma folga	6. Os locais forem grandes
	7. A tarefa tem folga

Fonte: Kenley e Seppänen (2010)

2.3.9 Curva de aprendizado

A curva de aprendizado é também conhecida por teoria do aprendizado, teoria da experiência ou efeito do aprendizado (ZAHARAN; NOUR; HOSNY, 2016a). Esse conceito surgiu na indústria aeronáutica, na qual verificou-se os benefícios com redução de tempo e custos para a montagem de aeronaves, conforme a equipe de montagem repetia os processos (WRIGHT, 1936). A psicologia e a neurociência estudaram esse efeito e comprovaram que desempenhar atividades repetitivas por si só já faz com que a memória de um indivíduo se fortaleça, e essa atividade cerebral pode melhorar suas habilidades (HEBB, 1949; ZAHARAN; NOUR; HOSNY, 2016a). Para o planejamento de obras, o efeito do aprendizado também se aplica e, com ele, da mesma forma, é possível diminuir o custo e a duração total do projeto além de melhorar a eficiência no uso de recursos (ZAHARAN; NOUR; HOSNY, 2016b).

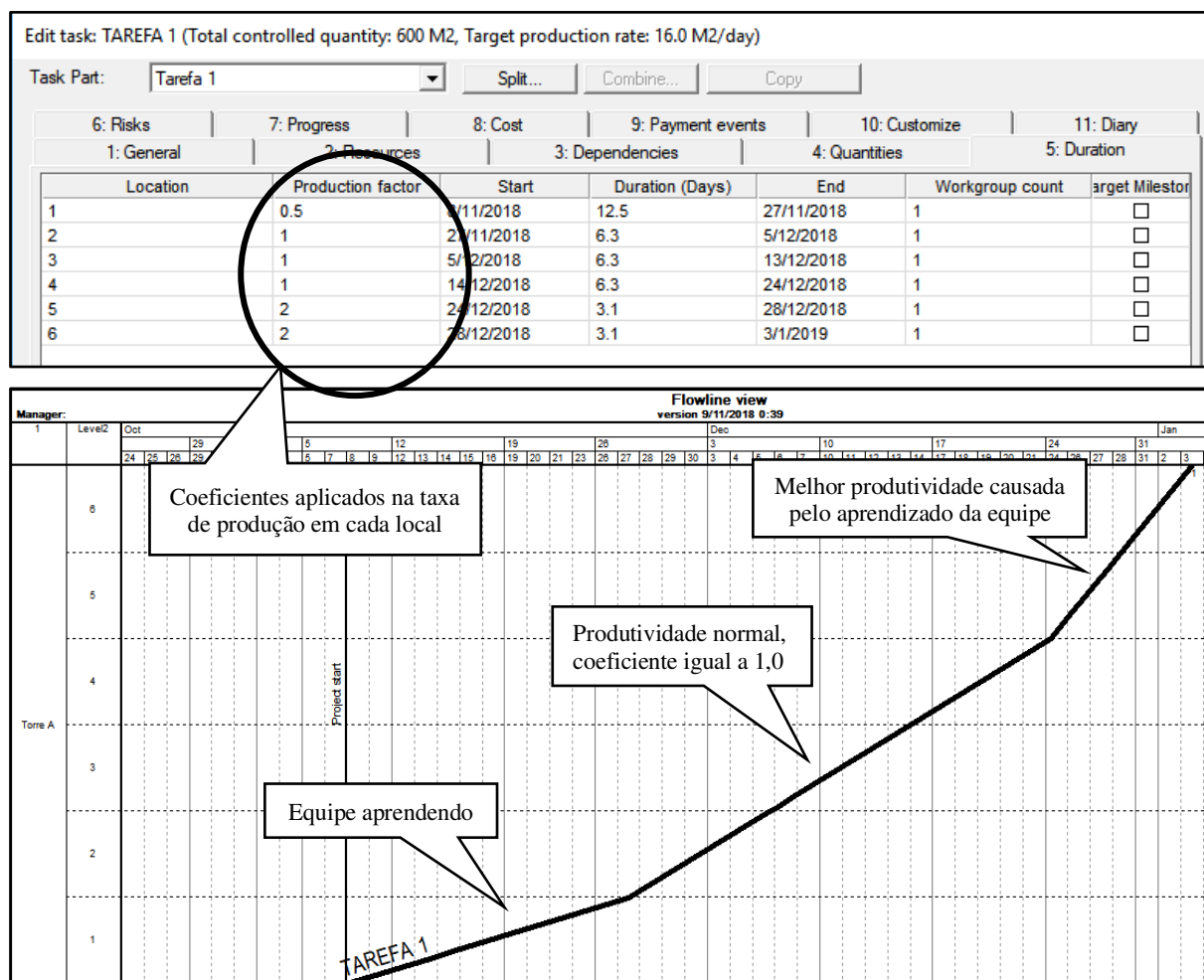


Figura 35: Curva de aprendizado

Fonte: o autor

Aprendizado é o fenômeno em que o tempo e o esforço para concluir uma tarefa diminuem à medida que o número de repetições aumenta. O aprendizado melhora a produtividade e menos força de trabalho é necessária para executar a mesma atividade. Esse benefício é obtido devido à melhoria da experiência e prática dos trabalhadores (ARDITI; TOKDEMIR; SUH, 2001b). A teoria da curva de aprendizado é aplicável quando os ciclos de trabalho repetitivo possuem condições de trabalho iguais ou similares em termos de tecnologia, condições meteorológicas e recursos (MALYUSZ, 2016). Alguns dos fatores que podem impactar a curva de aprendizado na construção são: a capacidade de aprendizado do trabalhador, o método construtivo, a qualidade dos projetos e especificações, a capacidade de influência do gerente e aquelas relacionadas às condições de trabalho (ARDITI; TOKDEMIR; SUH, 2001b).

Planejadores normalmente não estão familiarizados com os parâmetros utilizados para usar o aprendizado em favor do projeto, por ser difícil de conceituar e consequentemente de estimar. A consideração do aprendizado deve ser feita para cada tarefa individualmente, através de uma proporção de aprendizado que é expressa em porcentagem (ARDITI; TOKDEMIR; SUH, 2001a). Essa proporção não é necessariamente constante. Uma tarefa descrita na curva com 100% de aprendizado significa que nenhum aprendizado é considerado e o ritmo de produção de uma tarefa é o mesmo do padrão definido no planejamento (THOMAS; MATHEWS; WARD, 1986). O tempo gasto para executar o trabalho deve ser maior nas primeiras unidades de trabalho, ou seja, com um fator menor que 100% aplicado à taxa de produção considerada (ARDITI; TOKDEMIR; SUH, 2002). Na prática, um fator de impacto é considerado nas taxas de produção para cada tarefa como na Figura 35.

2.3.10 Workable backlog

Os recursos podem ser otimizados por meio de continuidade da tarefa, interrupções planejadas ou tarefas reservas (KENLEY; SEPPANEN, 2010). Nas seções anteriores, os benefícios da continuidade foram expostos. Já no caso de interrupções planejadas, mesmo após uma grande reflexão durante a fase de planejamento, elas podem trazer perdas ao projeto. Exemplo de interrupção foi apresentado anteriormente na Figura 34. Esse tempo ocioso da equipe permite a ela tomar decisões que talvez não sejam as melhores para o andamento da obra. A equipe pode ter que ser mobilizada e desmobilizada do canteiro, pode forçar o início da tarefa no próximo local sem o mesmo estar liberado ou ainda pode simplesmente ficar parada aguardando trabalho. Em todas essas situações ocorrem perdas da capacidade produtiva e

riscos. Para melhorar essa situação, o planejamento deve conter tarefas para ocupar os recursos em tarefas não críticas, enquanto estes não são necessários nas tarefas críticas. No LBMS essas tarefas são chamadas de *workable backlog* e um exemplo está representado na Figura 36.

Workable backlog também pode ser utilizado quando uma tarefa principal programada é interrompida por algum problema. Os recursos podem ser mobilizados para outra tarefa desde que já tenham sido removidas as restrições dessa tarefa reserva. Os recursos retornam para a tarefa principal quando ela estiver liberada. Aqui, novamente, *workable backlog* é utilizado para evitar a desmobilização da equipe (KENLEY; SEPPANEN, 2010).

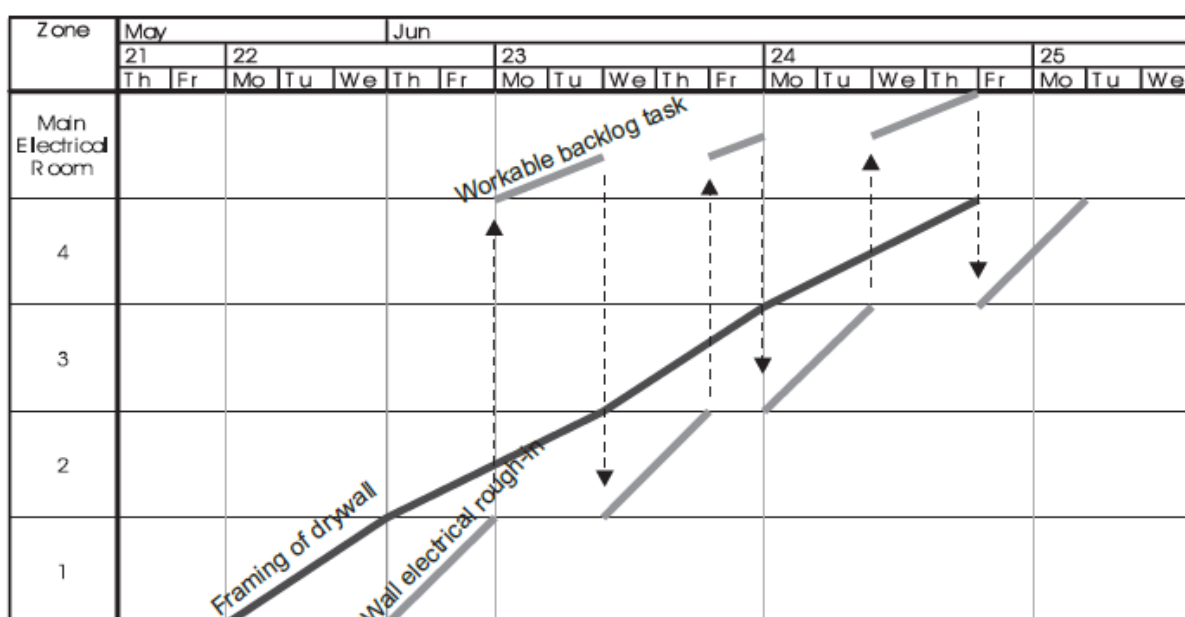


Figura 36: *Workable backlog*

Fonte: Kenley e Seppänen (2010)

Outra circunstância em que é possível usar o *workable backlog* é para evitar a superprodução. Superprodução é um tipo de perda em que a equipe produz mais que o necessário, aumentando assim o estoque de trabalho concluído (OHNO, 1988). Ou seja, deslocar a equipe para uma outra tarefa para promover uma desaceleração na tarefa principal.

Essas tarefas não críticas podem ser consideradas como *buffers* (ALVES; TOMMELEIN, 2004; BALLARD; HOWELL, 1995). Entretanto, o planejamento não deve ficar muito dependente deste artifício, pois o foco deve permanecer nas atividades principais. As tarefas do *workable backlog* podem aliviar a pressão por continuidade da equipe, mas não resolve o problema da tarefa principal que precisa ser realizada (LINNIK; BERGHEDE; BALLARD, 2013).

Existem outras recomendações para se trabalhar com *workable backlog* (KENLEY; SEPPANEN, 2010):

- (i) Mesmo sendo tarefas reservas, elas devem possuir local e quantidades definidas para calcular os recursos necessários para conclusão;
- (ii) Os recursos são alocados de acordo com a proporção de valor. Tarefas mais importantes possuem preferência de alocação, mesmo sendo tarefas reservas;
- (iii) *Workable backlog* deve ter recursos suficientes. Se uma tarefa do *workable backlog* atrasar pode virar crítica ou tornar-se uma restrição para outra tarefa no futuro;
- (iv) Se a tarefa ultrapassar a duração de um turno de trabalho, recursos adicionais deverão ser alocados ou um plano específico pode ser necessário.

2.3.11 Checagem da viabilidade do cronograma

Um cronograma deve ser submetido a uma análise crítica e a viabilidade do mesmo deve ser checada. Na sequência, o cronograma deve ser aprovado no devido nível de responsabilidade, como, por exemplo, a diretoria da construtora ou diretamente com o cliente, para então ser determinada a linha de base do LBMS. Essa linha de base é fixada no formato de um diagrama de linha de fluxo, uma planilha de controle e auxiliado por um gráfico de Gantt que serão usados para a etapa de controle da execução (KENLEY; SEPPANEN, 2010).

Para Bolviken, Aslesen e Koskela (2015), um bom plano para o LBMS é aquele em que as linhas das tarefas do diagrama são contínuas, indicando fluxo contínuo de trabalho, sem se cruzarem, indicando que apenas uma tarefa por vez em cada local, preferencialmente paralelas, indicando um mesmo ritmo e com uma distância ótima entre tarefas, indicando tempo de *buffers* (BØLVIKEN; ASLESEN; KOSKELA, 2015).

Checar a viabilidade significa remover todas as considerações não realistas do cronograma (KENLEY; SEPPANEN, 2010; SOINI; LESKELA; SEPPANEN, 2004)

- (i) Checar o conteúdo de trabalho das tarefas. As tarefas incluem todo trabalho do projeto? Como elas são feitas?
- (ii) Examinar a necessidade dos recursos do projeto. Os recursos conseguem mobilizar assim que requisitados? O calendário utilizado está correto? Haverá trabalho em finais de semana, feriados, no final de ano ou com hora extra? Existem os recursos suficientes? Eles foram dimensionados com um tamanho ótimo?
- (iii) Checar a sincronização dos trabalhos. O diagrama contém espaços vazios que podem ser otimizados? O trabalho é contínuo? O desenvolvimento das tarefas é realmente impactado se duas linhas de fluxo se cruzarem?

- (iv) Assegurar que há *buffers* suficientes no cronograma. O ritmo de produção irá variar? Foi considerado algum *buffer* de projeto relacionado às condições climáticas?
- (v) Checar se as quantidades estão distribuídas corretamente pelos locais;
- (vi) Checar se o cronograma cobre 80% da quantidade de Hh do projeto e todas as tarefas críticas;
- (vii) Checar a sequência de seções para otimizar a duração do projeto. As restrições técnicas foram consideradas?

Alguns autores sugerem ainda que, antes de iniciar a produção, o plano mestre deva ser testado através de simulações como, por exemplo, Monte Carlo (KANKAINEN; SEPPÄNEN, 2003; REZAEI, 2015; SOINI; LESKELA; SEPPANEN, 2004). O objetivo principal das simulações é testar se os *buffers* estão bem dimensionados.

2.4 Comparativo entre os métodos de planejamento

A comparação entre o planejamento baseado em atividades e em locais já foi objeto de discussão de muitas pesquisas. O Quadro 4 apresenta uma síntese de algumas dessas pesquisas ressaltando as vantagens e desvantagens de cada uma.

Quadro 4: Comparativo entre os métodos de planejamento

Aspecto	Planejamento baseado em Atividades (CPM/PERT/Gantt/Barras)	Planejamento baseado em Locais (LBMS/LDB)
Visualização do cronograma	<p>O gráfico é fácil de ler e compreensível para a maioria dos engenheiros.</p> <p>Se contiver muitas atividades se tornará difícil de segui-lo.</p> <p>Para obras muito grandes, podem ser necessárias várias folhas A0.</p> <p>(REZAEI, 2015; RUSSELL; UDAIPURWALA; WONG, 2003)</p>	<p>O gráfico é bem intuitivo, porém, não é tão assimilável por engenheiros quanto os gráficos de barras.</p> <p>Se contiver muitas atividades sem repetição em diferentes locais pode ser de difícil implantação.</p> <p>Se contiver uma quantidade grande de tarefas, mesmo que repetitivas, o cruzamento das linhas de fluxo pode tornar-se caótico.</p> <p>É comum o plano mestre (longo prazo) ser representado em uma única folha A4.</p> <p>Visual gráfico pode ser trabalhado em conjunto com conceitos da construção enxuta (KENLEY; SEPPANEN, 2010; RUSSELL; UDAIPURWALA; WONG, 2003; PINHEIRO, 2009)</p>

Continua na próxima página.

Continuação do Quadro 4.

Aspecto	Planejamento baseado em Atividades (CPM/PERT/Gantt/Barras)	Planejamento baseado em Locais (LBMS/LDB)
Atualização	Coleta de dados semanal, entretanto, os relatórios geralmente são mensais. Difícil de adotar ações corretivas em caso de desvio do plano. (ABDELHAMID, 2004; KALA; MOUFLARD; SEPPÄNEN, 2012; KENLEY; SEPPÄNEN, 2010)	Atualização semanal. Fácil integração com o LPS para definir metas semanais. Ações corretivas podem ser adotadas rapidamente e ações preventivas podem ser sinalizadas com maior antecedência (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010; OLIVIERI, 2016; TRIMBLE, 2015)
Escopo	As atividades são baseadas essencialmente na EAP. Pode permitir que subcontratados trabalhem em vários locais ao mesmo tempo, sem terminalidade, e com objetivo de aumentar suas medições financeiras. (SEPPÄNEN; EVINGER; MOUFLARD, 2013)	A ELP é a base fundamental de todo o sistema. O escopo é fortemente definido em cada local. Subcontratados ficam restritos ao local planejado até sua conclusão. (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010)
Durações	São estimadas geralmente com base na experiência do planejador ou gerente. Utiliza a taxa de produção para estimar a duração, mas não é obrigatório. Se utilizar a função “o mais breve possível” para todas as atividades, a duração total do projeto é menor quando comparada ao LBMS. (EVINGER; MOUFLARD; SEPPÄNEN, 2013; O'BRIEN; PLOTNICK, 2015)	Utiliza a taxa de produção e a inclinação da linha de fluxo é totalmente dependente dela. Duração não é uma entrada. Ela é uma saída do cálculo que incorpora a quantidade de trabalho no local, a taxa de produção, tamanho da equipe, e o fator de aprendizado ou dificuldade. (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010)
Riscos / <i>buffers</i>	Durações probabilísticas podem ser calculadas pelo método PERT. As folgas são tratadas como <i>buffers</i> . A resposta a um risco é convertida em acréscimo na duração. (O'BRIEN; PLOTNICK, 2015; PMI, 2017)	Folgas são tratadas como <i>buffers</i> . Permite inserir <i>buffers</i> : <ul style="list-style-type: none"> • Na taxa de produção; • Na data de entrada da equipe; • Na data de conclusão do trabalho; • Em locais específicos; Utilização de <i>workable backlog</i> . (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010)
Otimização	Compressão da duração da atividade. Otimização através da conversão de atividades sequenciais em paralelas. (PMI, 2011, 2017)	Otimiza o ritmo de produção alterando recursos ou o escopo da tarefa. Alteração da sequência das tarefas (<i>layers</i>) e permite dividir tarefas. Permite quebrar a continuidade da tarefa caso seja necessário. (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010)

Continua na próxima página.

Continuação do Quadro 4.

Aspecto	Planejamento baseado em Atividades (CPM/PERT/Gantt/Barras)	Planejamento baseado em Locais (LBMS/LDB)
Tempo dedicado ao planejamento	<p>Maior quando comparado ao LBMS.</p> <p>(KALA; MOUFLARD; SEPPÄNEN, 2012; OLIVIERI; SEPPÄNEN; GRANJA, 2018)</p>	<p>Menor quando comparado ao CPM.</p> <p>(KALA; MOUFLARD; SEPPÄNEN, 2012; OLIVIERI; SEPPÄNEN; GRANJA, 2018)</p>
Recursos	<p>Necessário um controle separado para identificar superalocação e sublocação de recursos.</p> <p>Difícil de identificar o fluxo de recursos entre as diferentes atividades.</p> <p>Com a falta de fluxo contínuo, podem ser necessárias várias mobilizações e desmobilizações.</p> <p>(KENLEY; SEPPANEN, 2010; LOCK, 2004)</p>	<p>Recursos tendem a ter um fluxo contínuo.</p> <p>Ao promover o fluxo contínuo, as mobilizações e desmobilizações de equipes são minimizadas.</p> <p>(KENLEY; SEPPANEN, 2010; OLIVIERI; SEPPÄNEN; GRANJA, 2018)</p>
Criticalidade	<p>Sequência de atividades críticas fortemente definida.</p> <p>(BÜCHMANN-SLORUP; ANDERSSON; FUHR PEDERSEN, 2012)</p>	<p>A tarefa com ritmo mais lento é a mais crítica (gargalo).</p> <p>Ocorre criticalidade entre tarefas quando as linhas de fluxo ficam muito próximas. Isso faz com que mobilização e desmobilização de equipes necessite uma boa sincronização e o tempo para a conferência dos serviços seja bastante comprimida.</p> <p>Quando as tarefas possuem ritmos iguais, a criticalidade está na mobilização, na data de início da tarefa e no primeiro local onde a equipe é alocada.</p> <p>(BÜCHMANN-SLORUP; ANDERSSON; FUHR PEDERSEN, 2012)</p>

Fonte: o autor

A popularidade do planejamento baseado em atividades comparado ao baseado em locais pode ser atribuída a três fatores: (i) A difusão e apoio de *softwares*: Primavera e Microsoft Project são utilizados há décadas por planejadores e gerentes, oferecem uma interface amigável, são relativamente acessíveis, enquanto que para planejar com locais, na maioria das vezes fazia-se o uso de Excel com adaptações (ARDITI; TOKDEMIR; SUH, 2002; MENDEZ; HEINECK, 1998; SEPPÄNEN; AALTO, 2005), (ii) A formação educacional dos engenheiros é baseada essencialmente no CPM (LAUFER; TUCKER, 1987): desde o surgimento da técnica na década de 1960 os cursos de engenharia incorporaram esse método como a principal ferramenta de gestão de tempo. Existem diversas especializações, em especial aquelas adeptas da gestão de

obras como um projeto (*project management*), que focam no CPM (CODAS, 1987a, 1987b). Esse cenário tem mudado gradualmente com a incorporação de aspectos de *lean construction*, (iii) O CPM é utilizado como requisito contratual (GALLOWAY, 2006): CPM tornou-se base de contrato de obras públicas com o Governo dos EUA e rapidamente difundiu-se na iniciativa privada; surgiu também uma classe de profissionais consultores especializados em analisar cronogramas com o objetivo de formar a base para aditivos contratuais por meio do impacto no caminho crítico (CODAS, 1987b).

Ambos os métodos utilizam os conceitos básicos do planejamento propostos por Laufer e Tucker (1987). O CPM informa o que, quando, quem e como as atividades serão desempenhadas. Entretanto, a pergunta de onde a atividade será desempenhada é obtida com mais facilidade no LBMS (KENLEY; SEPPANEN, 2010). A capacidade de transformar o plano mestre em um plano de médio e curto prazo também é mais clara no LBMS (SEPPÄNEN; MODRICH; BALLARD, 2015). Ambos os métodos determinam uma linha de base, com base na qual o projeto será controlado. No CPM, o controle da linha de base é feito através da porcentagem da atividade concluída e no cálculo do Valor Agregado, o qual não reflete com precisão a previsão de término da atividade ou do projeto (CÂNDIDO; CARNEIRO; HEINECK, 2014). No LBMS o controle é sobre a taxa de produção das equipes, e portanto, se a inclinação da linha de fluxo não mudar a data de entrega será dada pelo histórico de produção (KENLEY; SEPPANEN, 2010).

A dualidade entre os métodos torna-se clara na natureza de objetivos. Conforme já apresentado, o LBMS tem o objetivo principal de promover o fluxo contínuo dos recursos pelos locais da ELP. Em contrapartida, o CPM é concebido para planejar um projeto ou um contrato, que por definição tem caráter único, e consequentemente foca-se em reduzir a duração total. A consequência é a programação de atividades para iniciar o mais breve possível, além do uso exagerado de *buffers* para combater as incertezas. É comum ocorrer em projetos de construção o planejador estimar as durações e somente na execução o gerente determinar o tamanho das equipes.

O LBMS incorpora no seu processo de cálculo aspectos de sequenciamento do CPM, por meio do *layer 5*, e também permite a inserção de *buffers* (KENLEY; SEPPANEN, 2010), e, por esse motivo, ele se afasta um pouco dos preceitos da filosofia *lean*. Entretanto, o LBMS busca a eliminação de desperdícios (superprodução, espera, transporte, processamento, estoque, movimento, retrabalho (OHNO, 1988) e *making-do* (KOSKELA, 2004)). Pesquisas afirmam ainda que o fato do planejamento ser realizado com o CPM também caracteriza uma perda ou desperdício adicional, devido à incapacidade de ser planejado com o ciclo mais

eficiente (KENLEY; HARFIELD, 2015). Uma das principais características do LBMS é ele promover uma gestão colaborativa e ser facilmente integrado com o LPS. Alguns autores pesquisaram a integração do LBMS com outros sistemas *lean* (OLIVIERI, 2016; OLIVIERI; GRANJA; PICCHI, 2016). Entre outros benefícios, o planejamento baseado em locais inclui fluxo contínuo de trabalho, oferece menos riscos ao cronograma, melhor análise de alternativas, corte da duração do projeto com a otimização do ritmo de produção, checagem rápida da viabilidade do cronograma, relatórios de progresso padronizados em tempo real, a possibilidade de otimizar ações de controle e melhor controle do canteiro (SOINI; LESKELA; SEPPANEN, 2004).

2.5 Criticalidade

A criticalidade é um ponto importante a ser comparado entre os dois métodos de planejamento e esta seção destaca como o tema é abordado no PBA e no PBL. A criticalidade descreve se uma atividade ou tarefa afeta o tempo de conclusão da obra se essa atividade ou tarefa atrasar. Um dos princípios de criticalidade é definido como o conjunto de restrições que determinam se as atividades ou tarefas devem ser consideradas críticas dentro de um determinado método de planejamento (AMMAR; ABD-ELKHALEK, 2019). A criticidade das tarefas também deve ser vista à luz das fases do projeto, ou seja, se um edifício está sendo planejado o ambiente é estático, enquanto que na fase de controle o ambiente torna-se dinâmico e em constante alteração (AMMAR; ABD-ELKHALEK, 2019). Portanto, a capacidade de determinar rapidamente as tarefas críticas é importante para que os gerentes priorizem atividades tanto na fase de planejamento quanto durante a construção.

Na seção 2.2 desta dissertação foi apresentado o método para elaboração de um cronograma com o PBA, incluindo os conceitos de folgas e *buffers* para combater as incertezas. Presume-se que, ao finalizar o planejamento, o cronograma resultante já tenha passado pelos requisitos de atendimento do prazo final da obra e a aplicação das ferramentas de otimização de acordo com as necessidades de cada projeto, incluindo a disponibilidade de recursos, análises de fluxo financeiro, requisitos de qualidade e avaliação dos riscos. Após essas interações com as demais áreas, o cronograma apresenta um caminho crítico, determinado pela sequência de atividades com folga igual a zero. O quadro 5 apresenta outras sentenças que sintetizam as características de um caminho crítico. No PBA, as atividades ou caminhos podem ser classificadas da seguinte forma (AMMAR; ABD-ELKHALEK, 2019; CHANAS; ZIELIŃSKI, 2002):

- (i) Certamente crítica: apesar da incerteza;
- (ii) Possivelmente crítica: quando a criticalidade é desconhecida;
- (iii) Certamente não crítica;

Quadro 5: Principais características do Caminho Crítico

“O caminho crítico é a sequência de atividades que determina o prazo total do projeto”;
“O caminho crítico é o maior caminho entre o início e o fim do projeto”;
“O caminho crítico é composto pelas atividades de menor folga total (atividades críticas)”;
“O aumento de uma unidade de tempo na duração de uma atividade crítica aumenta o prazo total do projeto em uma unidade de tempo”;
“A redução de uma unidade de tempo na duração de uma atividade crítica reduz o prazo total do projeto em uma unidade de tempo”;
“O aumento de uma unidade de tempo na duração de uma atividade não crítica não atrasa o prazo total do projeto, ela pode até entrar no caminho crítico, mas não afetará o prazo total”;
“A redução da duração de uma atividade não crítica não afeta o prazo total do projeto”;
“A atividade mais longa do projeto não necessariamente integra o caminho crítico”;
“A atividade mais cara do projeto não necessariamente integra o caminho crítico”;
“A atividade de execução mais complexa do projeto não necessariamente integra o caminho crítico”;
“A atividade que requer mais recursos no projeto não necessariamente integra o caminho crítico”;
“Atividades críticas têm as datas mais cedo iguais às datas mais tarde”;
“Atividades não críticas têm as datas mais cedo diferentes das datas mais tarde”;
“A folga total representa quanto tempo uma atividade pode atrasar sem impactar no prazo total do projeto”;
“Uma atividade não crítica pode atrasar uma quantidade de dias equivalente à sua folga total sem afetar o prazo total do projeto”;
“Se uma atividade não crítica atrasar mais do que sua folga total, o prazo do projeto será aumentado”;
“Uma atividade não crítica torna-se crítica se sua folga for consumida”;
“Quanto menor a folga total, maior a probabilidade de essa atividade se tornar crítica”;
“A folga livre representa quanto tempo uma atividade pode atrasar sem atrasar o início mais cedo de suas sucessoras”;
“Se a folga livre da atividade for consumida, suas sucessoras não poderão iniciar na data mais cedo”;

Fonte: Mattos (2010)

Ainda no PBA, foi apresentada a forma determinística de estabelecer o caminho crítico (como o CPM). A criticalidade no PBA não é uma simples avaliação de um caminho crítico estático em um planejamento inicial. Ao incorporar os métodos probabilísticos, como o PERT, é possível diagnosticar a criticalidade tanto na duração total do projeto como em atividades individualmente. Nesse aspecto, é possível formar um *ranking* das atividades ou caminhos quanto a sua criticalidade, sendo que as atividades com menor folga, ou nenhuma folga, apresentam maior criticalidade. Muitas pesquisas investigaram a criticalidade desse *ranking* com o uso de ferramentas probabilísticas e criaram indicadores de quais atividades ou

caminhos possuem maior ou menor criticalidade (AMMAR; ABD-ELKHALEK, 2019, 2019; CHEN; HUANG, 2007; KAZEMI; TALEBI; JAVAD, OROOJENI MOHAMMAD, 2016; LORTERAPONG; MOSELHI, 1996; TARGIEL; NOWAK; TRZASKALIK, 2018). Cada pesquisa ponderou os próprios requisitos de avaliação da criticalidade, entretanto requisitos de tempo, custo, qualidade e segurança devem ser os principais pontos a serem analisados (SAN CRISTOBAL, 2013). Outra estratégia para tratar a criticalidade no PBA é focar na alocação de folgas das atividades. Nessa estratégia, as folgas das atividades podem ser realocadas, redimensionadas ou combinadas umas com as outras (M. SAID; LUCKO, 2016).

No PBL, a criticalidade é vista como a capacidade de transmitir para a tarefa seguinte a mesma taxa de produção. Sendo assim, a tarefa mais lenta é também a mais crítica, pois ela transmite o seu ritmo lento para as sucessoras. Uma tarefa pode tornar-se crítica também quando ela reduz o intervalo entre duas linhas de fluxo, tanto no eixo do tempo quanto no eixo de locais, o que na prática é o consumo da folga. No PBL esse ponto é mostrado graficamente por meio de um ponto de alerta. Quando duas linhas de fluxo se cruzam, a interpretação é a de que as equipes das duas tarefas estão trabalhando no mesmo local simultaneamente, o que é, dependendo do caso, não preferível ou até inexecutável. Tarefas sem folga também são as tarefas críticas no LBMS. Tarefas também pode tornar-se críticas se elas provocarem descontinuidade a essas tarefas sem folga. Em um cronograma balanceado, com todas as tarefas no mesmo ritmo, a criticalidade encontra-se na mobilização de cada equipe e no primeiro local onde cada tarefa irá mobilizar (BÜCHMANN-SLORUP; ANDERSSON; FUHR PEDERSEN, 2012, 2012).

A literatura é muito escassa ao tratar da criticalidade no PBL. Mas, da mesma forma que no PBA, um cronograma em PBL pode ser analisado quanto ao consumo das folgas e da inserção de buffers para combater incertezas. As incertezas mais estudadas no PBL são aquelas relacionadas aos pré-requisitos da produção como plano de suprimentos, projetos, quantidades estimadas caso não estejam disponíveis na fase de planejamento, definição de locais muito pequenos. Outras incertezas elencadas na literatura ao tratar do PBL são quanto a data de mobilização da equipe, sobre a taxa de produtividade, quanto a quantidade de trabalho em cada local, sobre a disponibilidade de recursos e quanto a falta de informações para realização do trabalho (KENLEY; SEPPANEN, 2010). Tendo em vista essas incertezas é possível avaliar os riscos por meio de ferramentas probabilísticas. Kenley e Seppänen (2010) aplicaram o método Monte Carlo em três variáveis básicas do PBL: datas de início, taxas de produtividade, e impacto no prazo total do projeto caso a equipe desmobilize, ou seja, não tenha um fluxo ininterrupto. O resultado contribui para a orientação de onde ser inserido os *buffers* no PBL.

Sugere-se que os *buffers* sejam alocados incorporado à taxa de produtividade, ao local pelo risco da equipe não entregar o mesmo completamente liberado para a próxima equipe, ao local para cumprir requisitos de segurança do trabalho ou ainda ao final do projeto (KENLEY; SEPPANEN, 2010). Entretanto, há pesquisas que sugerem que *buffers* de locais, condições climáticas ou aqueles que alteram a duração de tarefas devem ser evitados (BÜCHMANN-SLORUP, 2014; BÜCHMANN-SLORUP; ANDERSSON; FUHR PEDERSEN, 2012). E ainda, *buffers* aplicados na taxa de produção devem ser aplicados apenas em tarefas mais lentas (BÜCHMANN-SLORUP; ANDERSSON; FUHR PEDERSEN, 2012). A Figura 37 exemplifica graficamente esses *buffers* no PBL.

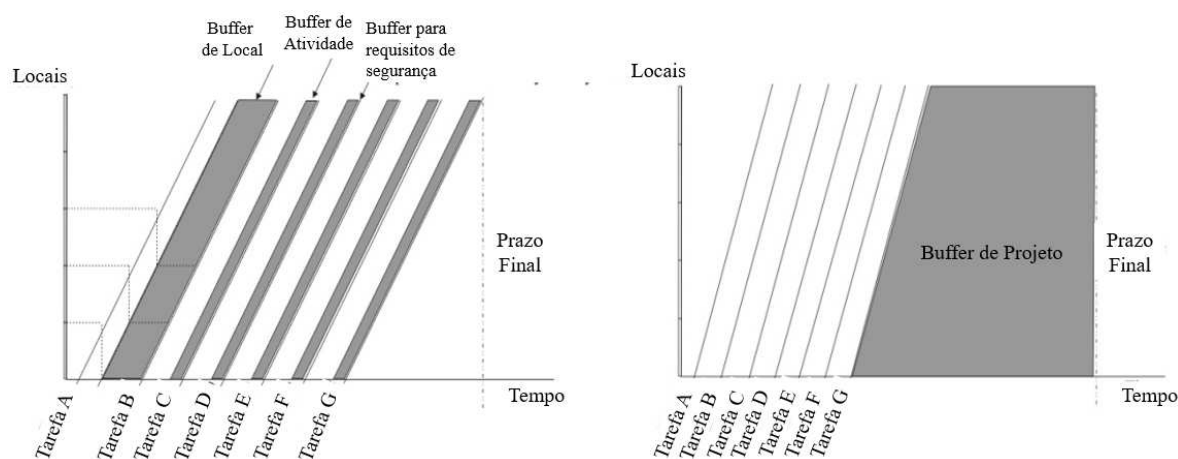


Figura 37: *Buffers* no PBL

Fonte: adaptado de BÜCHMANN-SLORUP (2014)

2.6 Obras com locais e atividades não repetitivas

Antes de se discutir locais e atividades não repetitivas, inicia-se por uma apreciação sobre o que se constitui locais e atividades repetitivas. Uma obra repetitiva significa que operações idênticas são realizadas repetidamente em unidades sucessivas pelos mesmos operadores (LUMSDEN, 1968). Conceitualmente, a construção de edifícios altos é um tipo de construção repetitiva, não apenas pelo fato de proporcionar operações repetidas, mas também por possuir uma mesma unidade básica de local como o pavimento tipo (ARDITI; SIKANGWAN; TOKDEMIR, 2002). Ioannou e Yang (2016) classificaram as obras repetitivas conforme a Figura 38. Obras não uniformes (com quantidade de trabalho diferente em cada setor) ainda podem ser consideradas contínuas e consequentemente repetitivas. Entretanto, para caracterizar uma obra com atividades e locais não repetitivos, é necessário se acoplar alguns conceitos de complexidade.

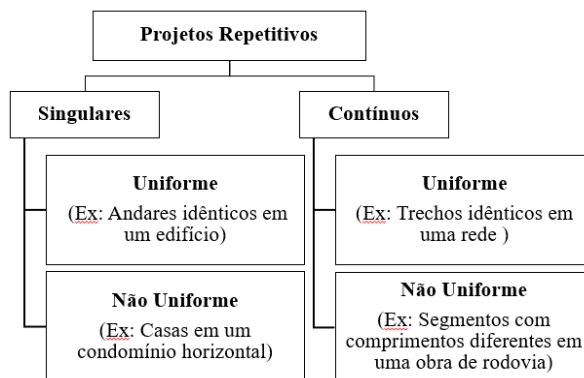


Figura 38: Classificação dos projetos repetitivos

Fonte: Ioannou e Yang (2016)

Complexidade não é sinônimo de obras grandes ou complicadas (WEAVER, 2007b). A etimologia da palavra “complexo” é entendida como uma construção composta de numerosos elementos e relações de interdependência ou de subordinação e que funcionam como um todo (FERREIRA, 2014). Portanto, na indústria da construção civil é possível se afirmar que atividades complexas são aquelas com um grande número de dependências internas e externas (MAURER, 2017). No LBMS, as dependências externas são tratadas através do *layer* 5, o mesmo que define todos os vínculos de sequenciamento do CPM. Uma dependência externa é encarada como uma restrição de cronograma, a qual é definida no plano de longo prazo e eliminada no plano de médio prazo. Uma restrição interna pode ser exemplificada com o estudo feito por Valente et al. (2014) na aplicação da LDB em uma periferia de edifício, onde as instalações provisórias e estoques de material restringiam o avanço das serviços.

Alguns autores afirmam que todas as obras de construção são complexas, pois envolvem uma mistura de processos manuais, industrializados, manufatura *lean* e produção em massa (PARTOUCHE; SACKS; BERTELSEN, 2008). Pode-se acrescentar ainda os conceitos da customização em massa, onde cada produto da linha de produção é diferente um do outro, e entregue sob a demanda do cliente, mantendo o alto volume de produção (GROSS; SIEGERT; BAUERNHANSL, 2017). Portanto, a exceção de customização de acabamentos e especificações em uma construção faz com que aumente a sua complexidade e tenha o grau de repetição diminuído.

Projetos complexos envolvem um grau incomum de incerteza e imprevisibilidade (SHANE et al., 2013). O planejamento de *buffers* em projetos não repetitivos é mais difícil, porque as localizações podem ter quantidades de serviço amplamente variadas (KENLEY; SEPPANEN, 2010). A variação de quantidade não é a única incerteza que motiva o uso de

buffers. Projetos com especificações precárias e as questões relativas aos recursos contribuem da mesma forma para a complexidade.

A maioria dos autores que exploraram o uso do planejamento baseado em locais aponta a necessidade de haver repetição para obter os benefícios de fluxo contínuo (HARRIS; IOANNOU, 1998; LUCKO; ALVES; ANGELIM, 2014; MENDEZ; HEINECK, 1998). Kenley e Seppänen (2010) dizem ainda que não há uma moderna aplicação do LBMS em obras não repetitivas. Outros autores acrescentam que algumas porções não repetitivas de um edifício, como escavações, fundações e trechos de estrutura podem ser melhor planejados através do planejamento baseado em atividades (O'BRIEN; PLOTNICK, 2015). Deve-se tomar cuidado para que um componente da construção não seja dominante, causando desvantagens nos demais (KENLEY; SEPPANEN, 2010). E ainda, o uso do planejamento baseado em locais em locais sem repetição é possível se os setores estiverem fortemente definidos e a complexidade de cada um for considerada (VALENTE et al., 2014).

3 MÉTODO

Este capítulo apresenta os aspectos que envolveram a escolha do estudo de caso como estratégia de pesquisa. Na sequência, o protocolo e o delineamento são apresentados tendo em vista a divisão da dissertação entre as etapas de qualificação e defesa.

3.1 Definição do método

Uma pesquisa acadêmica distingue-se de uma literatura comum pela procura por uma resposta a uma questão de pesquisa por meio de um método. O primeiro passo para definição de um método é a definição do objetivo e da abordagem da pesquisa (FREITAS, 2011). As pesquisas acadêmicas podem ser classificadas quando ao seu objetivo da seguinte forma (GIL, 2009):

- (i) **Pesquisa exploratória:** Proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando assim mais explícito, ou ainda para construir hipóteses. O objetivo é o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Portanto, o planejamento da pesquisa deve ser bastante flexível para possibilitar a consideração dos diversos aspectos do caso estudado;
- (ii) **Pesquisa descritiva:** Fazer a descrição das características de uma determinada população ou fenômeno ou ainda estabelecer relações entre variáveis. Algumas pesquisas podem ir além da identificação das variáveis e tendem a determinar a natureza dessa relação, aproximando-se assim da pesquisa explicativa. Algumas pesquisas, embora classificadas como descritivas, podem servir para proporcionar uma nova visão sob o problema ou ainda apresentar uma atuação prática;
- (iii) **Pesquisa explicativa:** Identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, aprofunda o conhecimento da realidade e procura explicar a razão das coisas. Pesquisas exploratórias e descritivas constituem etapas prévias indispensáveis da pesquisa explicativa, mas não significa que as duas primeiras tenham menos importância.

A abordagem da pesquisa é classificada entre quantitativa, qualitativa ou a combinação de ambos. A investigação pode ser qualitativa se as abordagens adotam um método em que o estudo inicial de teoria e literatura produz objetivos e hipóteses para serem testadas, bem como a tentativa de refutação delas. Na pesquisa qualitativa, uma exploração do assunto é realizada sem formulações prévias, o objetivo é ganhar entendimento e coletar informações e

dados para que as teorias surjam. Assim, a pesquisa qualitativa é um precursor da pesquisa quantitativa. Em campos da ciência, onde muitas teorias e leis já estão fortemente estabelecidos, estudos quantitativos de suas aplicabilidades podem ser desnecessárias, evita-se assim a "reinvenção da roda" para cada novo estudo (FELLOWS; LIU, 2008). Uma pesquisa também pode ser iniciada com uma abordagem qualitativa e, caso necessário, ser finalizada validando as evidências por meio de uma pesquisa quantitativa (FREITAS, 2011). A combinação metodológica é uma forma de reduzir as limitações que cada classificação possui (FELLOWS; LIU, 2008; FREITAS, 2011). Tendo em vista essas colocações, para essa dissertação, optou-se pela abordagem quantitativa. Esta pesquisa se iniciou com um estudo de caso de caráter exploratório (estudo de caso piloto a ser detalhado mais à frente), o qual proporcionou ao pesquisador maior familiaridade com o uso do PBL em uma parte selecionada de um edifício com característica de não repetitividade. A partir daí, seguiram-se mais 2 estudos de caso com caráter descritivo, com o foco de esclarecer as relações entre o uso do PBL em obras de caráter não repetitivo e as associações existentes com a criticalidade.

A escolha da estratégia de pesquisa deve ser apoiada em três condições: (i) o tipo de questão proposta (ii) a extensão de controle que o pesquisador possui sobre os eventos comportamentais e (iii) o grau de enfoque sobre acontecimentos históricos ou contemporâneos (YIN, 2003). A estratégia escolhida para essa dissertação para atender essas três condições é o estudo de caso. A escolha dessa estratégia encaixa-se no tipo de questão, pois, um estudo de caso é apropriado quando ela for tipificada em questões do tipo “como” ou “por que”, atendendo assim a primeira condição. A segunda condição é atendida pelo fato de um estudo de caso não necessitar do controle de eventos comportamentais. O planejamento de obra é investigado com base nas técnicas estabelecidas e não no padrão de comportamento do planejador que o realizou. E a terceira condição faz com que o estudo seja focado em um processo de planejamento recente (PBL), no entanto as evidências serão coletadas via realização de simulações com o uso de dados ou levantamentos documentais das construções já realizadas.

Um estudo de caso é uma investigação empírica que foca sobre um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, onde as fronteiras entre o fenômeno e seu contexto não estão claramente evidentes (YIN, 2003). Um estudo de caso deve ser considerado como um sistema integrado que possui uma delimitação e elementos ativos, essa estratégia deve ser tratada como um objeto e não como um processo de pesquisa (STAKE, 1995). Todavia, as características processuais do estudo de caso formam um guia para a pesquisa, o que inclui um número alto de variáveis de interesse e múltiplas fontes de evidência, e, como resultado, pode-se obter uma convergência destes dados (YIN, 2003). Por esse motivo, o método é adequado

para estudos envolvendo fenômenos complexos. A investigação de estudo de caso enfrenta uma situação tecnicamente única, a partir da qual é possível validar ou refutar uma teoria estabelecida ou ainda introduzir uma proposição teórica inédita. A questão de pesquisa desta dissertação traz uma novidade para o estudo do planejamento de obra, entretanto não objetiva criar uma teoria. Neste trabalho busca-se aplicar as teorias do PBL, pondo-os à prova, descrevendo-se também os fatores influenciadores no contexto analisado, com foco em não repetitividade e associações existentes com a criticalidade.

O estudo de caso como estratégia de pesquisa é frequentemente criticado no meio acadêmico (FLYVBJERG, 2006; LIMA et al., 2012; YIN, 2003). O caráter unitário de um estudo de caso pode sugerir a falta de base para a generalização científica. Em outras palavras, os resultados obtidos para o planejamento de obra em estudo podem não ser generalizados para toda uma classe de obras. Entretanto, o propósito de um estudo de caso está precisamente em dar início a uma proposição teórica ou pôr a teoria existente à prova, e não em estabelecer generalizações de amostras para populações. Os estudos de caso almejam generalizações analíticas (YIN, 2003). Outra crítica comumente encontrada é a falta de tratamento sistemático de dados, o que, por vezes, pode resultar em meras conjunturas à escolha do pesquisador (YIN, 2003). Esse argumento é refutado pelo tratamento sistemático de todas as evidências e pelo fato de o protocolo proposto por um estudo de caso poder ser delimitado com a robustez que a pesquisa exija.

3.2 Protocolo

O protocolo é uma das táticas principais para se aumentar a confiabilidade da pesquisa e destina-se a orientar o pesquisador a conduzir o estudo. O protocolo para essa pesquisa foi seguido conforme o proposto na Figura 39:

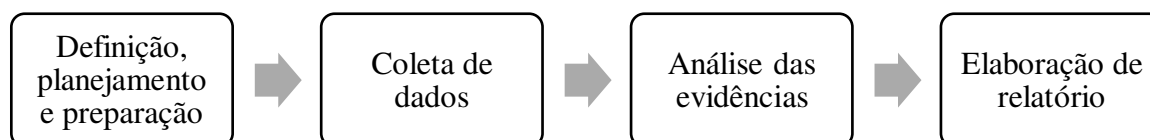


Figura 39: Protocolo padrão para um estudo de caso

Fonte: adaptado de Yin (2003)

- (i) **Definição, planejamento e preparação:** É onde são definidos o tema, os problemas, as questões e objetivos da pesquisa. A teoria inicial e a compreensão do que está sendo estudado são necessárias antes de qualquer trabalho de campo. Nessa

etapa, são planejadas as atividades subsequentes, como os dados serão coletados, analisados e como serão apresentados no relatório. Caso seja necessário, sugere-se um estudo de caso piloto para a verificação dos procedimentos que serão adotados. Deve-se definir ainda se a pesquisa será por meio de um caso único ou múltiplos;

- (ii) **Coleta de dados:** Deve obedecer a três princípios: (i) Deve-se utilizar várias fontes de evidências, entre elas estão: documentos, registros em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante, artefatos físicos (triangulação de fontes de evidências), (ii) Deve-se criar um banco de dados para o estudo o qual produz uma forma sistemática de organizar as informações coletadas, anotações e registros do pesquisador, levantamentos de dados quantitativos, ou também a reunião de dados em tabelas e (iii) Deve-se manter o encadeamento de evidências com o propósito de permitir que um observador externo tenha acesso às informações, o que fundamenta a linha de raciocínio da elaboração da questão de pesquisa até a sua conclusão;
- (iii) **Análise das evidências:** Possui quatro princípios: (i) Deixar claro que a análise se baseou em todas as evidências relevantes, (ii) Deve abranger todas as principais interpretações concorrentes, (iii) Deve dedicar-se aos aspectos mais significativos do caso e (iv) Utilizar o conhecimento prévio de especialistas;
- (iv) **Elaboração do relatório:** O relatório não segue nenhuma forma padronizada de formato para apresentação, em geral deve ser adequado ao público ao qual o estudo se destina. Um relatório pode conter formas variadas de composição, tanto em formato escritos quanto não escritos, com o uso de ilustrações ou fotografias. A estrutura de capítulos, seções e subtópicos deve ser organizada de forma adequada. Os casos tratados no estudo devem ser identificados no relatório, sejam eles casos reais ou anônimos. Recomenda-se ainda validar a minuta do relatório através de uma revisão por colegas ou especialistas, os quais devem ser devidamente identificados. A conclusão pode explorar as características de um estudo de caso exemplar e ser estendida para além do relatório em si.

3.3 Planejamento da pesquisa

O ponto de partida de um estudo de caso está na definição dos problemas a serem investigados e na elaboração das questões e objetivos, os quais estão fundamentados no primeiro capítulo dessa dissertação. O embasamento teórico, apresentado no segundo capítulo,

fornece a compreensão teórica essencial para a compreensão das variáveis a serem encontradas no campo. Ambos os capítulos incorporam esse primeiro passo para a investigação.

No planejamento da pesquisa deve ser definido se o estudo será um caso único ou múltiplo. Um estudo de caso único é análogo à pesquisa experimental. Um caso único investiga, em geral, um caso raro ou extremo o qual possa apresentar algo revelador à ciência. Em casos múltiplos, os resultados são considerados mais convincentes e consequentemente mais robustos. A escolha de mais de um caso obedece a lógica da replicação analítica e não da amostragem, ou seja, permite que os procedimentos sejam repetidos em casos semelhantes e não uma síntese estatística de um nicho específico. A replicação pode revelar convergência de resultados ou produzir resultados contrastantes, previamente antecipados. Portanto, um caso único seria pouco recomendável para essa pesquisa. Optou-se por investigar nessa pesquisa um estudo de caso piloto e mais dois casos distintos. Cada obra é estudada em profundidade e na sequência comparadas em busca de uma convergência ou divergência de resultados, quando contrapostos ao referencial teórico adotado. Se os resultados forem satisfatórios e sugerirem que obras semelhantes a essas obterão resultados similares, a condução de mais estudos de caso torna-se desnecessária.

Um estudo de caso piloto é adotado nesta pesquisa para orientar a coleta de dados dos casos principais, bem como alinhar as expectativas de resultados e conclusões. Um caso piloto não é um pré-teste, ele serve principalmente para a elucidação dos conceitos e das questões de pesquisa (YIN, 2003). A escolha deste caso é diferente dos demais, ele pode ser escolhido para disponibilizar informações compatíveis e bem acessíveis, ou ainda ser geograficamente conveniente. O planejamento escolhido é de uma construção em que este pesquisador atuou recentemente e, portanto, apresenta uma facilidade maior no acesso aos dados e informações do planejamento e do projeto. Para inibir qualquer possível viés nas análises, ressalta-se que o planejamento dessa obra foi elaborado por outro engenheiro, o qual possui uma experiência superior a dez anos, e foi validado por outros quatro engenheiros, tanto por parte do cliente quanto pelo líder do canteiro. O planejamento foi elaborado originalmente com os conceitos do PBA e, portanto, espera-se exibir características desse tipo de planejamento, incluindo suas vantagens e desvantagens apontadas na revisão de literatura.

Essa pesquisa se divide em duas grandes etapas, a primeira foi submetida ao exame de qualificação da dissertação e a segunda nesta versão definitiva. A primeira apresentou a definição, planejamento e preparação do estudo, bem como o caso piloto. A coleta e análise dos dados, o relatório com a discussão e conclusões desse caso piloto são apresentados. Neste ponto é possível revisar e promover algum eventual ajuste no procedimento de coleta e análise com

base nos resultados obtidos ou dificuldades que forem percebidas no caso piloto. Ao validar o procedimento de coleta e análise, a segunda etapa pode ser iniciada com a definição dos dois casos principais. Na segunda etapa da dissertação são apresentados os planejamentos de obra estudados em profundidade e devidamente comparados. Os resultados encontrados, sejam eles convergentes ou divergentes, deram suporte para as respostas das questões de pesquisa. O resumo de todo o delineamento da pesquisa está sintetizado na Figura 40.

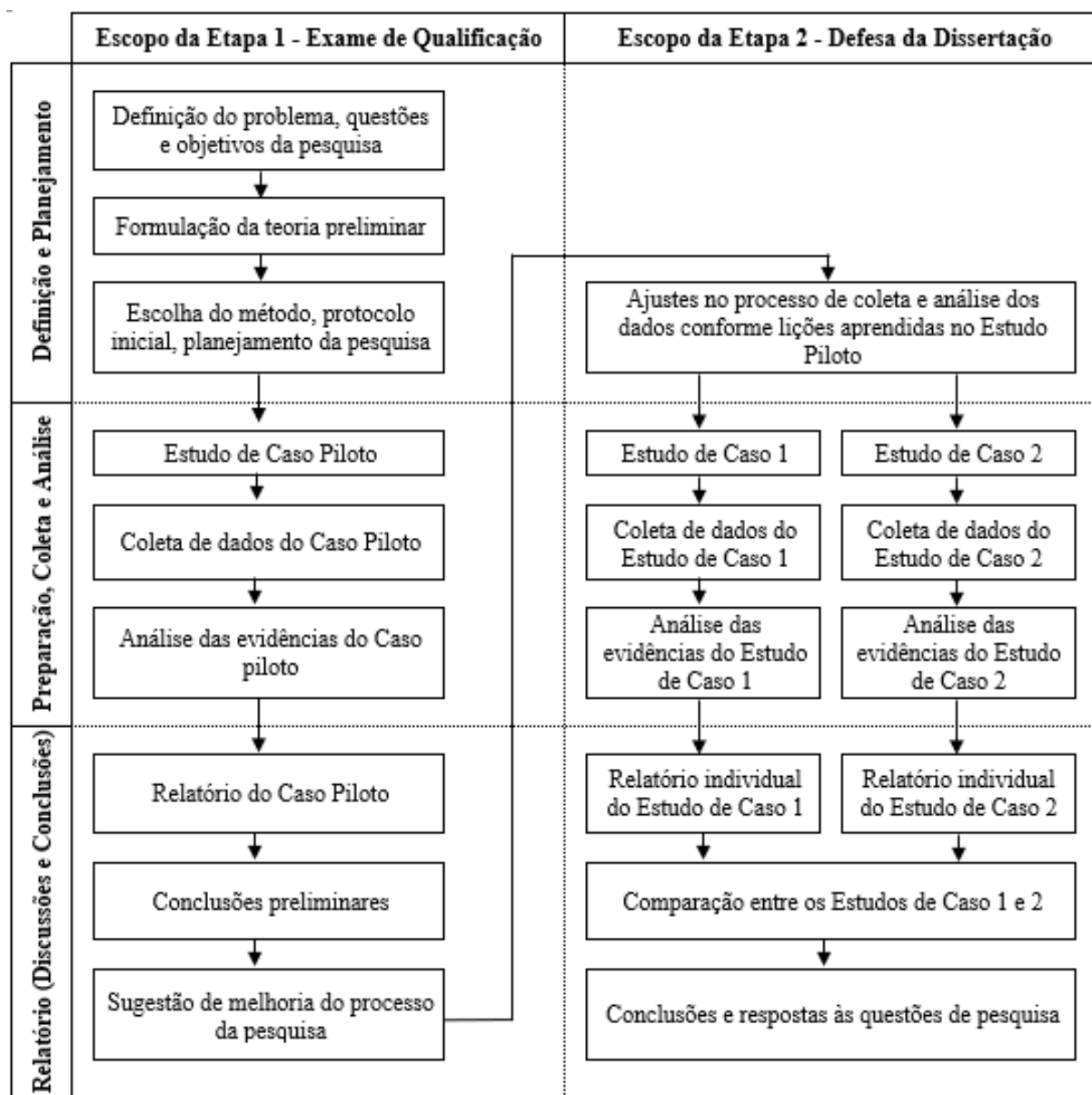


Figura 40: Delineamento da pesquisa

Fonte: o autor

Algumas aplicações computacionais são necessárias para a condução dessa pesquisa. A maioria destas são amplamente conhecidas como um leitor de arquivos do tipo pdf, editor de planilhas como Microsoft Excel ou editor de textos como o Microsoft Word. Porém,

existem duas outras que são fundamentais e caracterizam bem a distinção entre os PBA e PBL. Para o PBA, por ser o método e existirem os *softwares* mais populares, os dados coletados foram do tipo CPM elaborados no Microsoft Project ou Primavera da Oracle. Para o PBL fez-se uso do aplicativo *Schedule Planner Standard* (SPS), o qual faz parte da suíte de aplicativos Vico Office da Trimble, e incorpora todos os aspectos metodológicos da LBMS. A assinatura do SPS foi concedida pela Trimble para a instituição de ensino onde essa pesquisa foi realizada e foi essencial para o seu desenvolvimento. A fase de preparação deste estudo constituiu também o treinamento deste pesquisador na plataforma SPS, associado ao conhecimento prévio sobre as demais aplicações utilizadas.

3.4 Replanejamento da pesquisa

A pesquisa passou por ajustes ao entrar na etapa 2 da figura 40. Entre os fatores que motivaram esses ajustes foram as contribuições da banca no exame de qualificação, reuniões com orientador, consulta a pares e publicações recentes que complementaram a área pesquisada. Mas a principal fonte de necessidade de ajustes foi a análise do estudo de caso piloto. O objetivo principal de um caso piloto foi servir de guia para a condução dos casos principais na sequência desta pesquisa, procurar identificar barreiras que possam impedir a continuidade do estudo e melhorar os procedimentos a serem adotados. O estudo piloto demonstrou que apenas a consulta documental foi suficiente para orientar a condução adequada dos casos principais. Entretanto a escolha das obras para os casos principais deve ser necessariamente uma obra não repetitiva na totalidade ou, como no caso piloto, parte repetitiva e não repetitiva bem segregadas. A segunda necessidade é que haja a disponibilização dos dados. Assim, podem-se efetuar a coleta adequada de informações a serem estudadas. Portanto, os dados mínimos necessários para realizar os estudos são os seguintes:

- (i) Um cronograma feito por meio do PBA, em que as boas práticas de planejamento tenham sido adotadas;
- (ii) Uma setorização prévia da obra, mesmo que não seja a divisão ideal, para poder catalogar as informações dentro de uma ELP;
- (iii) A possibilidade de definir quantidades de trabalho nos locais. Na ausência de uma lista pronta, acesso aos projetos para levantamento;
- (iv) A taxa de produção considerada para cada equipe de trabalho. Esse item é preferível, mas não obrigatório. Na ausência de dados reais da construtora, podem ser adotados bancos de dados externos.

Uma das necessidades para cumprir os objetivos da pesquisa é possibilitar a comparação entre PBA e PBL. Portanto, buscou-se uma forma com que ambos os cronogramas pudessem ser postos lado a lado para realizar essa comparação. Optou-se em deixar ambos os cronogramas no formato de visualização do PBL devido à compacidade de sintetizar informações. Então dois procedimentos são necessários: Converter o cronograma PBA para a visualização do PBL e elaborar um cronograma PBL com as boas práticas sugeridas na literatura. Para conversão do PBA em PBL utilizaram-se os seguintes passos:

- (i) Definir a ELP (usualmente cronogramas CPM utilizam o nome das atividades com a descrição do local onde é executada);
- (ii) Definir as atividades principais do cronograma;
- (iii) Catalogar as quantidades de trabalho de cada atividade em cada local em função de uma unidade fundamental de trabalho;
- (iv) Catalogar as durações originais das atividades em cada local;
- (v) Catalogar as datas de início de cada atividade em cada local;
- (vi) Catalogar o sequenciamento das atividades do cronograma;
- (vii) Lançar os dados coletados no software *Schedule Planner*;
- (viii) Extrair o gráfico dos dados originais do PBA no formato de visualização do PBL.

A elaboração do PBA não é requisito para elaborar o PBL. Fora desta pesquisa, obras podem ser programados por meio do PBL sem passar por todas as etapas desenvolvidas aqui para o PBA. Entretanto, os dados coletados das obras utilizados no PBA foram aproveitados também no PBL. Fez-se uso no PBL da mesma ELP, definição de escopo das tarefas, sequenciamento e quantidade trabalho em cada local em função de uma unidade fundamental encontrada no PBA. As durações foram recalculadas com base em taxas de produção. As datas de início também não foram aproveitadas, já que as tarefas são completamente realocadas a fim de promover fluxo contínuo de recursos. Os dados são inseridos no *Schedule Planner*, mas com a premissa de deixar todas as tarefas com o máximo de continuidade possível e, na sequência, algumas técnicas do PBL para otimização foram aplicadas. De acordo com a literatura citada no capítulo específico, as técnicas de otimização do PBL foram as seguintes, listadas na sequência preferencial das boas práticas de planejamento:

- (i) Alterar o ritmo de uma tarefa: aumentar ou reduzir recursos ou mudar a quantidade de escopo da tarefa;

- (ii) Alterar a sequência de execução: a sequência de locais não precisa ser a mesma para todas as tarefas desde que obedecem ao sequenciamento lógico da técnica construtiva;
- (iii) Dividir as tarefas: permitir que equipes atuem em mais de um setor ao mesmo tempo;
- (iv) Quebrar a continuidade: deve ser utilizada em último caso, pois os riscos aumentam se for promovida a desmobilização da equipe sem o trabalho ser concluído completamente.

A otimização do cronograma é interrompida quando a duração total do cronograma PBL atingir a mesma do PBA. O cronograma PBL é dado como concluído e pode ser comparado com o PBA quanto as questões e objetivos propostos nesta pesquisa. Em outra etapa da pesquisa, na qual trata da criticalidade de cronogramas PBL, a comparação com PBA não realizada. Entretanto, para discussão sobre a criticalidade no PBL, o cronograma é novamente apresentado dando destaques nos pontos a serem discutidos.

A figura 41 apresenta um resumo do método de pesquisa.

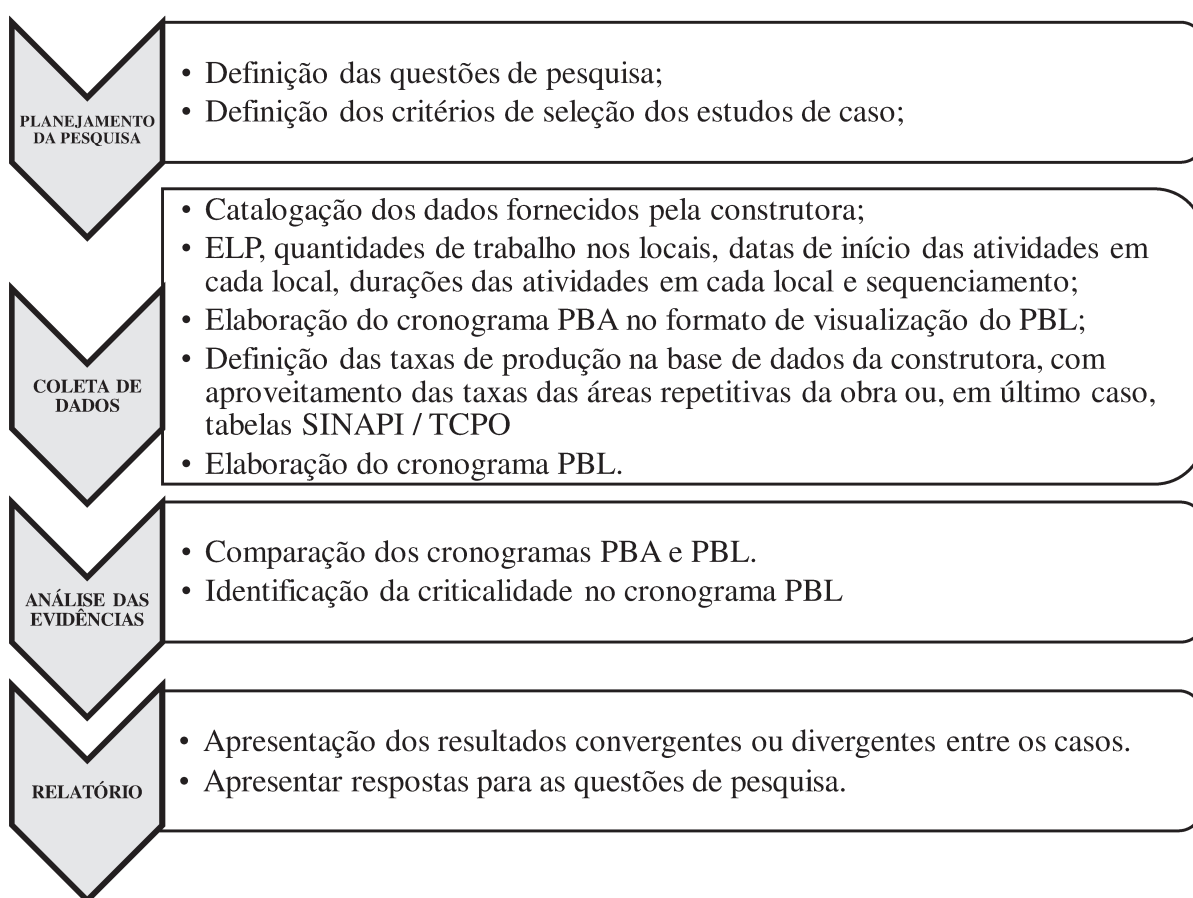


Figura 41: Resumo do método de pesquisa

Fonte: o autor

O caso piloto apresentou uma quantidade razoável de informações que não servem apenas para guiar os casos principais, mas podem também contribuir para os resultados finais desta pesquisa. Um caso piloto pode ser promovido para caso principal se ele for trazer tais contribuições (YIN, 2003). Essa pesquisa realizou, portanto, três estudos de caso, um piloto e dois principais. Espera-se também que três casos já possam oferecer alguma convergência ou divergência de resultados para ser realizada uma discussão e assim responder as questões de pesquisa.

3.5 Conceitos de obras não repetitivas e criticalidade para aplicação do método

Para essa dissertação, a criticalidade no PBL foi considerada de acordo com os critérios propostos pela pesquisa de Buchmann-Slorup (2012):

- (i) As tarefas que pertençam à sequência de tarefas com maior duração total com folga igual a zero são críticas.
- (ii) Uma tarefa é crítica se for alocada em um local que impõe atraso em alguma das tarefas que pertençam à sequência com maior duração total com folga igual a zero.
- (iii) A tarefa é crítica se causar descontinuidade em alguma das tarefas que pertençam à sequência com maior duração total com folga igual a zero.
- (iv) A tarefa mais crítica é aquela que possui a menor taxa de produção e pertença à sequência com maior duração total com folga igual a zero.

Outra consideração é quanto a duração de uma jornada de trabalho. Como as obras estudadas foram executadas em território nacional, a jornada está subordinada à legislação local. Atualmente, uma jornada padrão de trabalho é de 44 horas semanais (BRASIL, 2017). A legislação permite que algumas empresas utilizem uma jornada de 8 horas de segunda a sexta, mais 4 horas no sábado. Ou ainda 9 horas de segunda a quinta e 8 horas na sexta. Essas diferenças de jornada trariam uma complexidade adicional e desnecessária para essa pesquisa. Portanto, propõem-se uma simplificação para a média de 8,8 horas diárias (44 horas dividido por 5 dias). Esse valor foi utilizado sempre que necessário converter dias em horas.

Nos termos dessa dissertação, tendo em vista a bibliografia citada, locais e atividades não repetitivos são definidos quando atenderem um ou mais itens do Quadro 6.

Quadro 6: Complexidade de atividades e locais não repetitivos

RESTRIÇÃO	DEFINIÇÃO
Complexidade na divisão da ELP	Instalações que não respeitam a setorização. (Ex: dutos de ar-condicionado que cruzam vários setores, promovendo restrições de trabalho em vários locais ao mesmo tempo)
Complexidade na quantificação do trabalho em cada setor	Setores com quantidade e trabalho diferente entre eles (Podem promover necessidade de mudança na taxa de produção e tamanho das equipes) Incerteza, projetos incompletos, solicitações de modificação.
Complexidade na tarefa	Dificuldade em detalhar o escopo de uma tarefa e em definir o tamanho ótimo da equipe.
Excesso de restrições em cada setor	Áreas destinadas a estocagens de material ou a instalações provisórias. Restrições de segurança (ex: balancins de fachada interferindo nas áreas periféricas da edificação). Restrições de projeto, suprimentos, modificação solicitada pelo cliente.
Atividades específicas que não se repetem em outros locais	Geralmente realizada por um recurso exclusivo (ex: montagem de cabine de transformação, instalação de gerador, piscina, etc.).
Excesso de atividades descontínuas	Utilização de <i>Workable Backlog</i>

Fonte: o autor

4 ESTUDOS DE CASO

Esse capítulo divide-se em cinco partes. As três primeiras tratam cada um dos estudos de caso piloto, 1 e 2 individualmente, as obras são identificadas e o cronograma original em PBA é convertido para o formato de visualização do PBL, também é elaborado um cronograma com base nos procedimentos do PBL para cada caso. A terceira parte faz uma discussão sobre a criticalidade dos cronogramas PBL em cada estudo de caso e na última é apresentada uma síntese destes resultados.

4.1 Estudo de Caso Piloto

Esta seção trata do caso piloto. Aqui é apresentada a identificação da obra, os documentos disponibilizados e os dados catalogados do cronograma original em PBA. O cronograma PBA é convertido para o formato de visualização do PBL. E, na sequência, o cronograma em PBL é desenvolvido tendo em vista as boas práticas e otimização da ferramenta já apresentadas no capítulo 3. Ele é mais extenso que os demais casos pois foi no caso piloto que se pode observar preliminarmente as circunstâncias encontradas nos casos 1 e 2.

4.1.1 Identificação da obra

A construtora responsável pelo planejamento da obra do caso piloto será chamada nesta de pesquisa de Empresa A. Trata-se de uma empresa que atua na construção e incorporação imobiliária de empreendimentos residenciais e comerciais de médio e alto padrão nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. A empresa A possui uma grande relevância no mercado imobiliário, tendo uma história de 35 anos aos longos dos quais já construiu mais de três milhões de metros quadrados. A empresa não possui mão de obra própria, todos os serviços dentro da construção são terceirizados para subempreiteiras especializadas em cada serviço.

A obra investigada é um edifício comercial de vinte e três pavimentos localizado no norte do Estado de São Paulo, com mais de dezessete mil metros quadrados de construção. A obra teve início em 2014 e já se encontra concluída. A construção foi dividida em dois setores claramente definidos. Dos vinte e três pavimentos, vinte são pavimentos tipo, idênticos entre si, constituindo muita repetição. E o outro setor engloba toda a área comum do empreendimento, incluindo três pavimentos onde estão distribuídos ambientes como auditório, cafeteria, jardins externos, áreas técnicas, vestiários, estacionamento e demais facilidades. Os ambientes possuem dimensões e especificações de acabamentos, e consequentemente

quantidade de trabalho, bem diferentes entre si constituindo assim locais não repetitivos. Além disso, nem todas as atividades ocorrem em todos os locais, configurando-se assim atividades não repetitivas.

O plano de ataque da obra tem foco em dar preferência para a execução da torre, enquanto toda a periferia e subsolos são ocupados pelas instalações provisórias da obra, tais como o almoxarifado e refeitório, bem como as áreas de estoque de materiais. O prazo final da obra é junho de 2016, mas não é a única data que traz restrição externa ao projeto. A decoração e mobiliário das áreas comuns é uma atribuição do cliente e devem ser entregues com 30 dias de antecedência. A obra é entregue com a energia elétrica já instalada pela concessionária, e, portanto, as áreas técnicas de transformador e central de medição também devem estar prontas com 30 dias antes do prazo final da obra. O planejamento das áreas repetitivas e não repetitivas foram planejadas separadamente. As áreas não repetitivas foram iniciadas apenas nos meses finais da construção, quando as instalações provisórias começaram a ser removidas.

4.1.2 Coleta de dados e aplicação do PBL

Os dados coletados correspondem às informações disponíveis no planejamento inicial da obra. As fontes de dados foram as seguintes:

- (i) Cronograma CPM elaborado no Microsoft Project da área repetitiva;
- (ii) Cronograma CPM elaborado no Microsoft Project da área não repetitiva;
- (iii) Projetos, desenhos e especificações de acabamentos de todo empreendimento;
- (iv) Documentos relacionados ao escopo dos subempreiteiros;
- (v) Plano de ataque da obra;
- (vi) Plano logístico e dimensionamento de canteiro;
- (vii) Cronograma de suprimentos;
- (viii) Observações diretas.

Uma grande vantagem do cronograma da área não repetitiva é que ele descreve o local junto ao nome dado à atividade, por exemplo, contrapiso do auditório ou pintura da cafeteria. Apesar da nomenclatura não seguir um padrão uniforme, a lógica dos nomes é bastante assertiva e foi possível identificar as atividades desempenhadas em cada local mesmo para um cronograma elaborado por meio do PBA. As informações de durações, quantidade de trabalho e datas de início de cada atividade em cada local foram catalogadas sistematicamente em tabelas e estão à disposição para consulta no Apêndice A.

A sintetização dos dados exige algumas considerações. As informações estão agrupadas em vinte e seis locais (Figuras 42 e 43), com uma quantidade de trabalho em uma unidade fundamental. Por exemplo, o trabalho de instalação de *drywall* reúne as atividades de fixação de guias, montagem dos montantes, instalação das chapas e vedação com fitas em uma unidade de metro quadrado de *drywall*. As informações das atividades estão agrupadas em trinta e três empreiteiras, e essas, por sua vez, precisam estar com a mesma unidade fundamental apontada no local. A produtividade da equipe não é explícita nos cronogramas coletados, fato já esperado pois trata-se de uma premissa do CPM, onde o foco está na duração e não na taxa de produção. Entretanto, a obtenção da taxa de produção de cada empreiteira é uma informação importante para a continuidade da pesquisa. Como visto na revisão de literatura, a taxa de produção pode ser obtida de diversas fontes como a adoção de taxas de obras similares ou de *benchmarks* com as tabelas SINAPI e TCPO. Mas a fonte mais precisa da taxa deve ser do banco de dados da própria construtora, de preferência da mesma equipe que já está familiarizada com os seus processos construtivos. Sendo assim, foi necessário analisar o cronograma da área repetitiva, pois esta dispunha de dados que o cronograma da área não repetitiva não possuía. Assim, a taxa foi obtida considerando-se a quantidade de trabalho e o tempo previsto para desempenhá-lo em cada local da área repetitiva. O dimensionamento previsto das equipes também foi adicionado ao cálculo com dados coletados do plano de logístico e dimensionamento de canteiro. A taxa foi obtida com os dados da área repetitiva da obra e, portanto, refletem um cenário ótimo de produção.

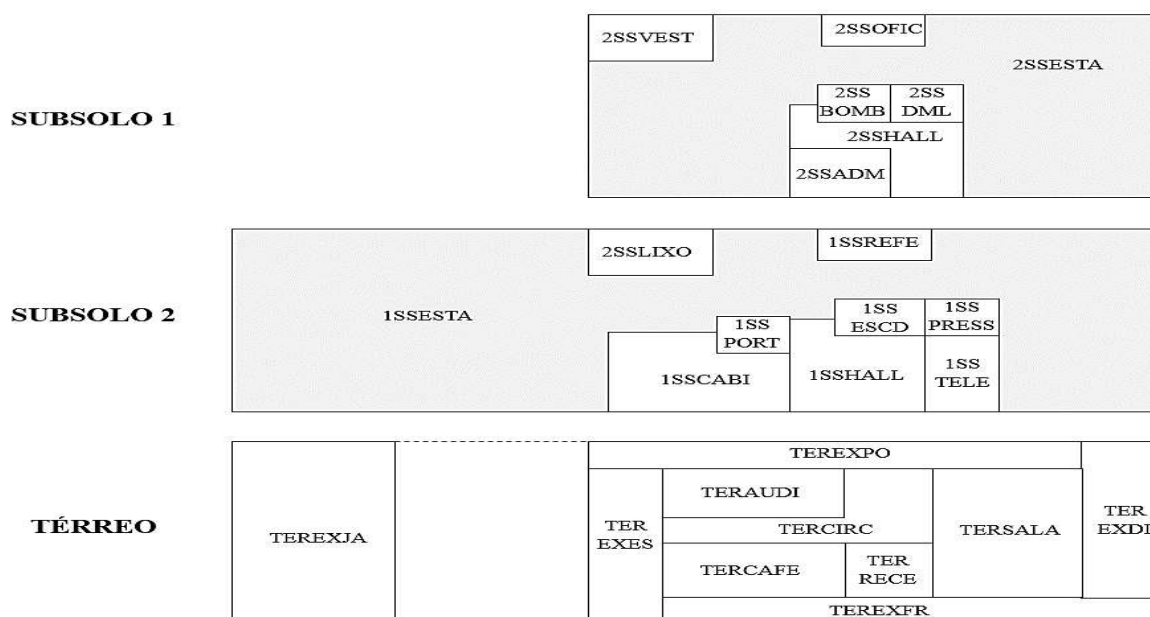


Figura 42: Setorização das áreas não repetitivas do Estudo de Caso Piloto

Fonte: o autor

Nível 1	Nível 2	Nível 3	
		Legenda	Descrição
OBRA 1 (área não repetitiva)	2ºSubsolo	2SSADM	Sala da Administração
		2SSVEST	Vestiários
		2SSDML	Depósito de Material de Limpeza
		2SSOFIC	Oficina
		2SSBOMB	Sala de Bombas
		2SSESTA	Estacionamento
	1ºSubsolo	1SSREFE	Refeitório
		1SSLIXO	Depósito de Lixo
		1SSTELE	Sala de Telefonia
		1SSESCD	Escadas
		1SSESTA	Estacionamento
		1SSHALL	Hall
		1SSCABI	Cabine de Transformação
		1SSPORT	Portaria
		1SSPRESS	Sala de Pressurização
	Térreo	TERSALA	Sala
		TERRECE	Recepção
		TERAUDI	Auditório
		TERCIRC	Circulação
		TERCAFE	Cafeteria
		TEREXJA	Jardim Externo
		TEREXPO	Jardim Externo Posterior
		TEREXDI	Jardim Externo da Direita
		TEREXES	Jardim Externo da Esquerda
		TEREXFR	Jardim Externo Frontal

Figura 43: ELP do Estudo de Caso Piloto

Fonte: o autor

Os cronogramas elaborados por meio do PBA neste estudo piloto são extensos. A área repetitiva possui seis folhas A0 e a não repetitiva cinco folhas A1 e, por dificuldade de anexação a este documento, elas não foram incluídas. Para serem analisados e comparados com um planejamento baseado em locais, esses cronogramas foram convertidos para a representação gráfica do PBL. A figura 44 (superior) apresenta o cronograma original CPM das áreas repetitivas com base nas durações e datas de início de cada atividade em cada local. Nesse formato, é possível observar algumas atividades sem fluxo contínuo que são difíceis de identificar em um diagrama de barras. Essa evidência valida as críticas que alguns autores fazem ao CPM (KENLEY; HARFIELD, 2015; KENLEY; SEPPANEN, 2010; LAUFER; TUCKER, 1987; LUCKO; ALVES; ANGELIM, 2014).

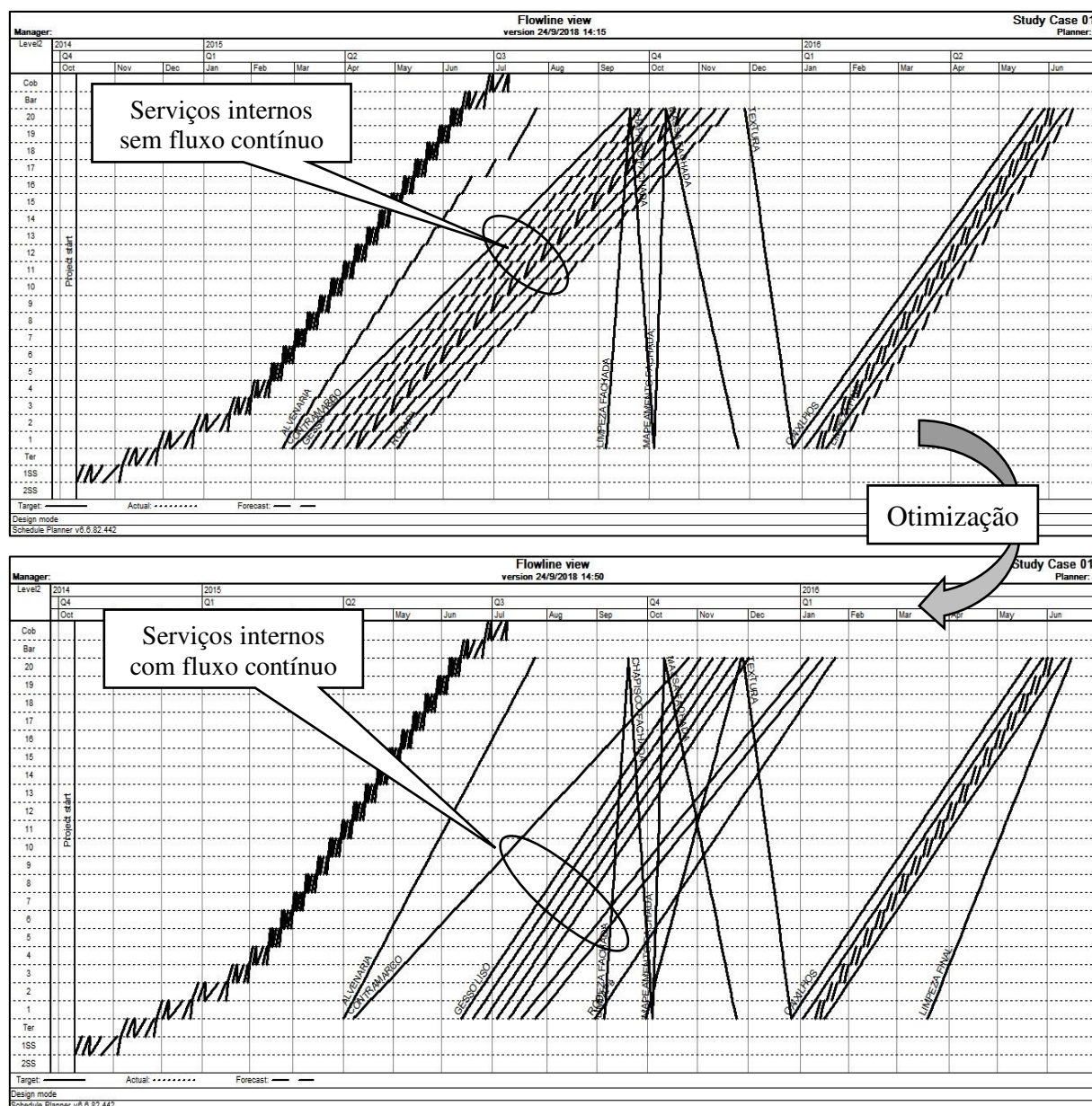


Figura 44: Cronograma das áreas repetitiva PBA (superior) e PBL (inferior)

Fonte: o autor

A ausência de fluxo contínuo é causada pela concepção de realizar as atividades “o mais breve possível”, comum em cronogramas originados do PBA. A aplicação dos conceitos do LBMS pode contornar esse problema. A data de início da atividade pode ser propositalmente atrasada até o ponto em que a equipe, ao iniciar, percorra todos os locais sem interrupções. Entretanto, se a folga da tarefa for totalmente consumida, a tarefa se tornará crítica. O resultado é apresentado na Figura 44 (inferior). A data de término do projeto não foi alterada pois as atividades que possuíam descontinuidade não estavam no caminho crítico. A própria tipologia da obra favoreceu, pois, esse edifício comercial possui poucos serviços internos e muito tempo dedicado às fachadas, as quais já estavam planejadas com um fluxo contínuo. O aumento de

fluxo das equipes observadas neste caso é similar aos resultados encontrados em outras pesquisas (OLIVIERI; SEPPÄNEN; GRANJA, 2018; VARGAS; MOREIRA, 2015).

O cronograma do PBA das áreas não repetitivas também foi convertido para o formato do PBL tendo em vista a duração e datas de início em cada local, ele está apresentado na Figura 43 (superior). As linhas de fluxo expõem a dispersão das atividades por todos os locais, característica de uma obra não repetitiva. Algumas atividades ocorrem em poucos ou em apenas um único local, e as demais enfrentam o mesmo problema da falta de continuidade, da mesma forma como encontrado no cronograma das áreas repetitivas. O diagrama permite ainda visualizar atividades que são realizadas em um mesmo local ao mesmo tempo (linhas que se cruzam), essas interferências são difíceis de ser diagnosticadas em um diagrama de barras. Essas interferências não são necessariamente um problema, um mesmo serviço pode compartilhar o mesmo local de trabalho se este for suficientemente grande ou se as equipes não interferirem umas nas outras, no quesito ocupação ao mesmo tempo dos mesmos locais de trabalho. Como no diagrama de barras é difícil de determinar essas interferências, elas podem ocorrer de forma quase involuntária, diferente do PBL, no qual a interferência se torna explícita e se o planejador decidir mantê-la. Outra constatação é que atividades iguais levam tempos diferentes em locais diferentes (inclinação da linha de fluxo não uniforme). Isso é causado pela quantidade de trabalho variar de local para local, quanto mais trabalho, maior o tempo dedicado da mão de obra.

A aplicação dos conceitos do PBL nessas áreas não repetitivas, que constitui o maior desafio desta pesquisa, é mais trabalhoso do que o apresentado para a área repetitiva. O primeiro passo do PBL é a determinação da ELP e as quantidade em cada local e definição das tarefas, a qual está devidamente registrada no Apêndice A. Com a quantidade em cada local e a duração original do cronograma PBA foi obtida a taxa de produção original na coluna e da tabela 1 (coluna b dividido pela coluna c, vezes a coluna d). Já para obtenção da taxa de produção para o PBL foram utilizadas as taxas das tarefas da área repetitiva e complementadas apenas quando necessário com a tabela SINAPI (2018). Essas taxas estão listadas na coluna f da tabela 1. Essas taxas de produção apresentam uma discrepância muito grande quando comparadas entre si, o que é um indício de uso de *buffers* sobre as durações. Uma nova duração (coluna g) é obtida usando as essas novas taxas de produção (coluna f) multiplicadas pela quantidade de trabalho (coluna c) dividido pela duração da jornada (coluna d), as quais supõem-se não haver *buffers* exagerados já que se trata de um setor onde as incertezas são mais controláveis. Algumas atividades, como a montagem do gerador e da central de medição elétrica, tiveram as taxas mantidas devido às suas especificidades. A diferença entre as durações

expõe os *buffers* utilizados. Ao todo, constatou-se que os *buffers* atribuídos promoveram ao menos 29% de incremento na duração total do projeto.

Tabela 1: Determinação da taxa de produção do Estudo de Caso Piloto

Atividade (a)	Duração Original (dias) (b)	Quantidade de Trabalho (c)		Horas/ dia (d)	Taxa de Produção Original (hora/unid) (e)	Nova Taxa de Produção (hora/unid) (f)	Duração sem <i>Buffers</i> (dias) (g)	Diferença Duração (h)	% (i)
Estrutura	20	21,03	m ³	8,8	8,37	0,62	1,49	-18,51	-93%
Alvenaria	77	1.481,70	m ²	8,8	0,46	0,62	103,56	26,56	34%
Hidráulica	86	172,00	unid	8,8	4,40	2,40	46,99	-39,01	-45%
Incêndio	45	131,00	unid	8,8	3,02	2,40	35,79	-9,21	-20%
Louças	16	149,00	unid	8,8	0,94	0,59	9,94	-6,06	-38%
Elétrica	122	364,00	unid	8,8	2,95	2,40	99,45	-22,55	-18%
Luminária	99	340,00	unid	8,8	2,56	0,59	22,69	-76,31	-77%
Exaustão	24	16,00	unid	8,8	13,20	0,59	1,07	-22,93	-96%
Contramarco	29	342,40	m	8,8	0,75	1,31	50,92	21,92	76%
Esq. Alumínio	33	68,00	unid	8,8	4,27	1,60	12,39	-20,61	-62%
Reboco	56	1.284,18	m ²	8,8	0,38	0,60	87,83	31,83	57%
Contrapiso	61	787,07	m ²	8,8	0,68	0,65	58,50	-2,50	-4%
Forro	59	537,84	m ²	8,8	0,97	0,32	19,81	-39,19	-66%
Cerâmica	47	375,14	m ²	8,8	1,10	0,78	33,46	-13,54	-29%
Ladrilho	40	540,21	m ²	8,8	0,65	0,78	48,18	8,18	20%
Granito	18	75,99	unid	8,8	2,08	0,59	5,07	-12,93	-72%
Esq. Madeira	14	26,00	unid	8,8	4,74	1,55	4,57	-9,43	-67%
Divisória	7	41,72	m ²	8,8	1,48	1,34	6,36	-0,64	-9%
Pintura	117	4.094,34	m ²	8,8	0,25	0,17	78,53	-38,47	-33%
Limpeza	201	4.236,27	m ²	8,8	0,42	0,11	51,35	-149,65	-74%
Medição	25	1,00	unid	8,8	220,00	200,00	22,73	-2,27	-9%
Gerador	15	1,00	unid	8,8	132,00	120,00	13,64	-1,36	-9%
Transformador	10	1,00	unid	8,8	88,00	80,00	9,09	-0,91	-9%
Esq. Ferro	6	5,00	unid	8,8	10,56	1,60	0,91	-5,09	-85%
Artefato Metálico	18	6,00	unid	8,8	26,40	24,00	16,36	-1,64	-9%
Aterro	7	882,00	m ³	8,8	0,07	0,06	6,36	-0,64	-9%
Drywall 1	23	350,65	m ²	8,8	0,58	0,42	16,93	-6,07	-26%
Drywall 2	20	350,65	m ²	8,8	0,50	0,32	12,92	-7,08	-35%
Impermeabilização	25	894,57	m ²	8,8	0,25	0,52	52,47	27,47	110%
Gesso Liso	14	299,29	m ²	8,8	0,41	0,35	11,98	-2,02	-14%
Carpete	4	91,89	m ²	8,8	0,38	0,35	3,64	-0,36	-9%
Textura	18	371,98	m ²	8,8	0,43	0,40	16,96	-1,04	-6%
Paisagismo	23	233,34	m ²	8,8	0,87	0,79	20,91	-2,09	-9%
TOTAL DIAS	1.379,00						982,86	396,14	29%
TOTAL HORAS	11.032,00						7.862,87	3.169,13	29%

Fonte: o autor

O sequenciamento das tarefas foi obtido depois de uma análise do cronograma e dos projetos. Alguns vínculos são lógicos como o revestimento ser executado depois da alvenaria, outros podem fazer parte de uma preferência executiva que varia de construtora para construtora, baseados em seus próprios procedimentos de qualidade. Neste caso, foi preciso elaborar um esquema para identificar a lógica utilizada na elaboração e identificar essas preferências (Figura 45). Os *layers* foram inseridos conforme esse esquema, e tomadas as devidas precauções para que a lógica original fosse respeitada e ainda incorporando os conceitos do PBL, como fluxo contínuo, uma tarefa por vez em cada local. Esse procedimento fez com que o cronograma, originalmente com três meses e meio, se estendesse por mais de um ano, e, portanto, medidas de otimização fizeram-se necessárias. As seguintes ações foram adotadas seguindo a preferência sugerida na literatura:

- (i) Melhorar o ritmo das tarefas mais lentas por meio da adição de recursos, até então tratados como equipes únicas;
- (ii) Alterar a sequência de produção. O cronograma original sugere a tendência de iniciar a execução a partir do segundo subsolo e terminar no térreo, entretanto algumas tarefas otimizam o cronograma se forem executadas no térreo primeiro, para assim liberar para execução a cadeia de serviços posteriores nestes locais;
- (iii) Dividir a equipe. Permitir que a mesma tarefa ocorra em mais de um local ao mesmo tempo. Utilizada nos casos em que a adição de recursos não foi suficiente;
- (iv) Uma alternativa disponível, que não foi necessária neste caso, é permitir a descontinuidade, ou seja, executar parte do trabalho, desmobilizar a equipe e retornar quando a próxima etapa estiver liberada.

A otimização do cronograma é interrompida quando os prazos das restrições externas impostas ao projeto são atingidos. As tarefas estão adensadas dentro dos três meses e meio originais, porém, desta vez, com recursos com fluxo e sem interrupções. O planejamento, antes de ser dado como concluído, precisa ainda passar por uma avaliação crítica final. Algumas tarefas permaneceram ainda com interferência (linhas de fluxo que se cruzam), entretanto, trata-se de serviços que podem ser executados concomitantemente, tais como a instalação de luminárias no meio do estacionamento e a pintura do perímetro. Neste momento, as incertezas são avaliadas e, caso necessário, *buffers* específicos são inseridos em resposta a esses riscos. A versão final do planejamento é a apresentada na Figura 46 (inferior).

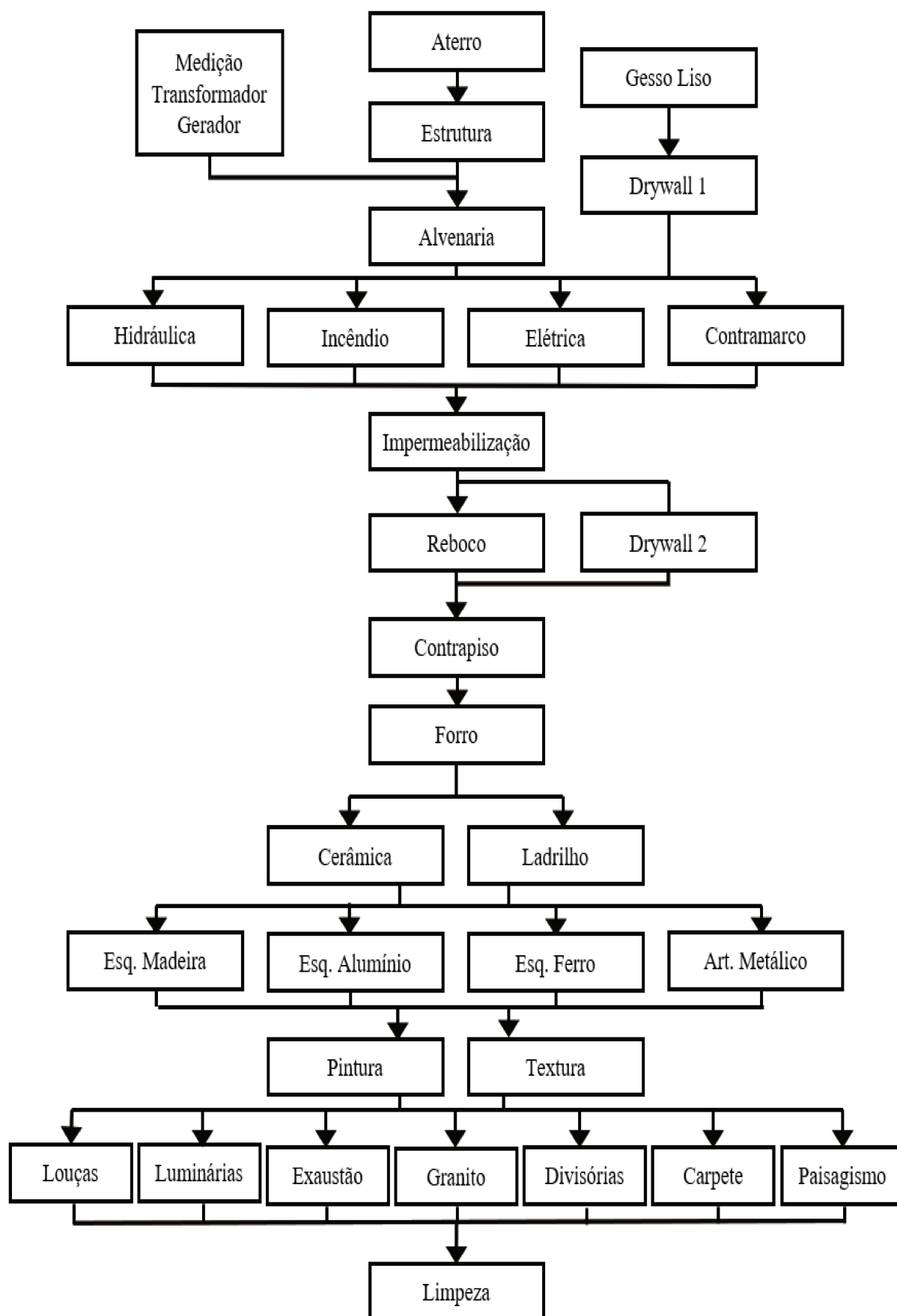


Figura 45: Sequenciamento das atividades do Estudo de Caso Piloto

Fonte: o autor

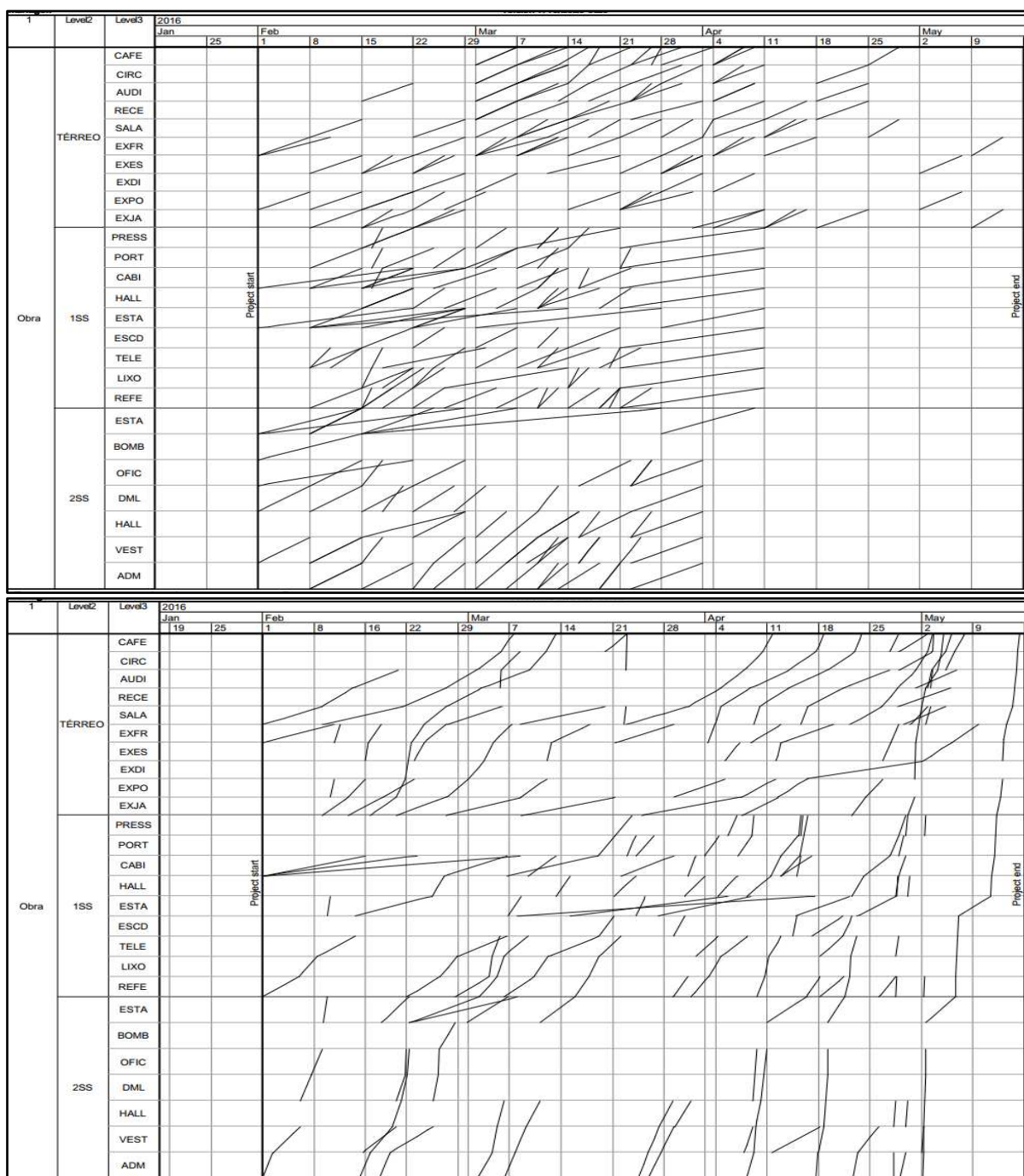


Figura 46: Cronograma das áreas não repetitivas em PBA (superior) e PBL (inferior)

Fonte: o autor

4.1.3 Análise dos resultados do Caso Piloto

O caso piloto demonstrou ser possível aplicar os mesmos procedimentos do PBL de uma obra repetitiva em uma obra não repetitiva. A sequência de trabalho aplicada é: (i)

definir a ELP, (ii) quantificar o trabalho nos locais, (iii) definir as tarefas, (iv) estabelecer os vínculos de sequência, (v) otimizar o cronograma e (vi) verificar a viabilidade. O cronograma da Figura 46 (inferior) pode parecer caótico e difícil de interpretar. Entretanto, na operação do *software Schedule Planner* foi possível aplicar diversos filtros que permitiram transformar esse plano mestre em metas semanais ou ainda filtrar apenas a exibição de um único serviço. A figura 47 apresenta as linhas de fluxo de seis tarefas filtradas, o que permite uma interpretação mais clara do cronograma. As tarefas de montagem do gerador, da central de medição e do transformador estão correndo ao mesmo tempo no mesmo local, o que foi permitido na análise de viabilidade já que o local é grande o suficiente para que os serviços não interfiram uns nos outros. Essa interferência poderia ser resolvida alterando a ELP e criando locais menores. A Figura 47 exemplifica ainda o caso do forro em que a sequência de execução foi alterada para liberar serviços mais críticos em outro local. A pintura foi dividida em duas equipes que trabalham em locais diferentes com o objetivo de acelerar uma tarefa antes tida como lenta. E, por fim, a equipe de limpeza que flui continuamente, apenas iniciando o próximo local depois que o anterior estiver concluído.

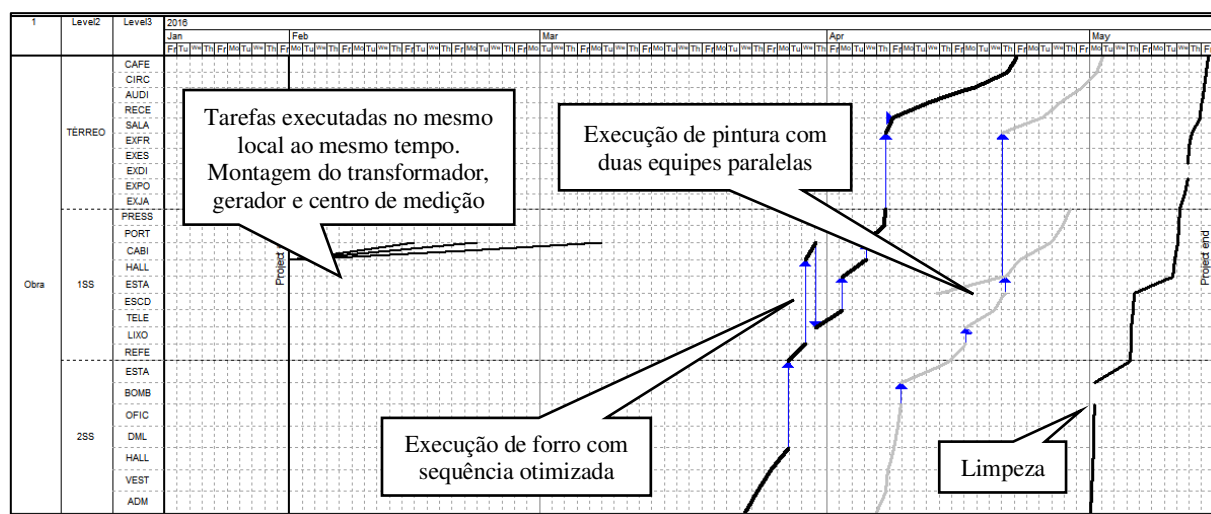


Figura 47: Seis tarefas destacadas do caso piloto

Fonte: o autor

4.2 Estudo de Caso 1

Esta seção trata do estudo de caso 1. Da mesma forma que no caso piloto, a identificação da obra, os documentos disponibilizados e os dados catalogados do cronograma original em PBA são apresentados. O cronograma PBA é convertido para o formato de visualização do PBL. E, na sequência, o cronograma em PBL é desenvolvido tendo em vista as

boas práticas e otimização da ferramenta já apresentadas no capítulo 3. No estudo de caso 1 houve a particularidade que não há uma área repetitiva ou dados de produtividade da construtora que pudessem ser aproveitados para o desenvolvimento do PBL. Sendo assim, as novas taxas foram calculadas com base nas tabelas SINAPI e TCPO. O dimensionamento de equipes também não foi disponibilizado pela construtora e, portanto, também precisou ser determinado com base nestas novas taxas.

4.2.1 Identificação da obra

A construtora responsável pelo planejamento da obra do estudo de caso 1 será chamada nesta de pesquisa de Empresa B. Trata-se de uma empresa que atua na construção de galpões industriais e obras corporativas urbanas em todo território brasileiro. A empresa B tem 35 anos de existência e já concluiu mais de 800 obras de porte relevante. A empresa não possui mão de obra própria, todos os serviços dentro da construção são terceirizados para subempreiteiras especializadas em cada serviço.

A obra investigada é um galpão logístico em estrutura pré-moldada com algumas edificações auxiliares anexas. A obra localiza-se na região Nordeste do Brasil e foi iniciada e concluída no ano de 2018. A obra possui uma área construída total aproximada de 45 mil metros quadrados dos quais 35 mil constituem a área do galpão principal e os outros 10 mil estão distribuídas nas edificações anexas. A região do galpão preenche todos os requisitos de uma obra repetitiva, como peças pré-moldadas similares distribuídas ao longo de uma vasta área, as quais podem ser facilmente divididos em setores e obtidos vários benefícios se planejadas por meio do PBL como a literatura prévia já defende. Entretanto, as edificações periféricas, que constituem quase 20% da área total, são geograficamente afastadas definindo assim setores bem definidos com áreas, quantidade de trabalho e complexidades diferentes. Preenche-se assim os requisitos desta de dissertação na investigação de uma obra não repetitiva.

O planejamento original da obra foi feito com a utilização procedimentos do PBA com auxílio do *software* Microsoft Project. Percebe-se uma preferência para o galpão pois é onde encontra-se as maiores quantidades de escopo a ser executado.

4.2.2 Coleta de dados e aplicação do PBL no Estudo de Caso 1

Os seguintes documentos foram disponibilizados pela Empresa B:

- (i) Cronograma inicial da obra PBA elaborado no Microsoft Project o qual inclui as áreas repetitivas e não repetitivas;

- (ii) Projetos, desenhos e especificações de acabamentos de todo empreendimento;
- (iii) Orçamento o qual apresenta as quantidades de escopo contratado;
- (iv) Documentos relacionados com as principais contratações de empreiteiras terceirizadas;

Os dados foram analisados com profundidade e, assim como no caso piloto, foram catalogados de forma a identificar a ELP. A ELP dos locais não repetitivos é facilmente identificada no cronograma. Cada atividade realizada nestes locais possuía uma nomenclatura que sugeria o local a ser realizado como, por exemplo, alvenaria da Portaria 2 ou estrutura do Refeitório. Entretanto, na área do galpão, a nomenclatura das atividades trazia muitas referências com as peças estruturais o que fez que houvesse muita interação entre projetos e cronograma para identificar a setorização. Esse fato torna o cronograma difícil de ser interpretado sem os projetos específicos. O conjunto de peças estruturais pôde finalmente ser agrupado em 4 setores chamados na ELP de Depósito 1, 2, 3 e 4. Ainda dentro do galpão, identificou-se uma cadeia de atividades em alguns setores com mais acabamentos do que nos depósitos como as salas de Administração, Recebimento e Expedição. Esses setores foram inseridos em um nível abaixo na hierarquia da ELP. A figura 48 apresenta um esquema da setorização resultante da obra do Estudo de Caso 1. E a figura 49 apresenta os dezesseis locais divididos em quatro níveis na hierarquia da ELP.

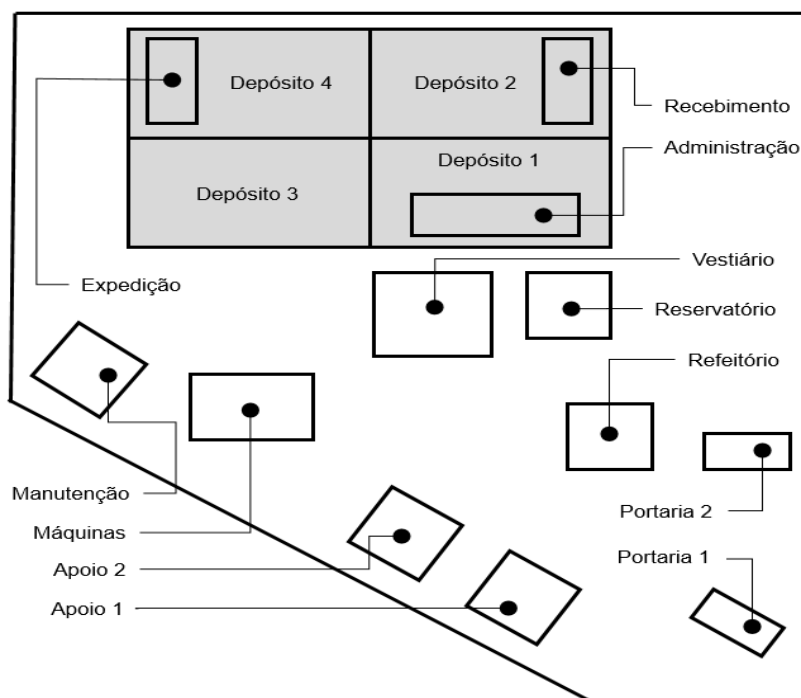


Figura 48: Setorização do Estudo de Caso 1

Fonte: o autor

O cronograma PBA original contém aproximadamente trezentas atividades (linhas) que foram sintetizadas em 13 tarefas no LBMS as quais percorrem os 16 locais da ELP. Essa sintetização permitiu concluir o registro dos dados recebido da Construtora B. As três tabelas do Apêndice B mostram a data de início, quantidade de trabalho e duração de cada atividade em cada local do cronograma original. Com base nestes dados, permitiu-se a reprodução do cronograma PBA original em um formato de exibição igual ao do PBL. Esse cronograma é mostrado na figura 52 (superior).

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
OBRA 1	Externos	Manutenção	1
		Máquinas	1
		Apoio 2	1
		Apoio 1	1
		Portaria 2	1
		Portaria 1	1
		Refeitório	1
		Vestiário	1
		Reservatório	1
	Galpão	4	Expedição
			Depósito 4
		3	Depósito 3
			Recebimento
		2	Depósito 2
			Administração
		1	Depósito 1

Figura 49: ELP do Estudo de Caso 1

Fonte: o autor

O próximo passo é a elaboração de um cronograma com a utilização dos procedimentos do PBL. A ELP, a quantidade de trabalho em cada local e as tarefas são as mesmas dos dados coletados do cronograma original. No entanto, as tarefas necessitam um incremento de informações, em especial na definição da taxa de produção das equipes. Diferente do caso piloto, não há um banco de dados da construtora para essas taxas de produção e nem uma fonte de informações das atividades da área repetitiva como foi possível no caso piloto. Sendo assim, a ausência de informações foi suprida exclusivamente por taxas de bases de dados externas como SINAPI e TCPO. A tabela 2 mostra a taxa de produção do cronograma original (coluna e) obtida dividindo a duração em dias (coluna b) pela quantidade de trabalho (coluna c) e pela quantidade horas no dia. A nova taxa de produção foi inserida na coluna f, e

assim obtendo-se a nova duração de cada tarefa (coluna h). A diferença de duração de todas as atividades somadas foi 50% menor que a original. Pressupõe-se que a ausência de um banco de dados da construtora fez com que o planejador tendesse a estimar durações mais pessimistas, com durações maiores, e assim sobrecarregando o cronograma com *buffers*.

Tabela 2: Determinação da taxa de produção do Estudo de Caso 1

Atividade (a)	Duração original (dias) (b)	Quantidade de trabalho (c)		horas /dia (d)	Taxa de Produção Original (h/qtde) (e)	Nova Taxa de Produção (h/qtde) (f)	Qtde de equipes (g)	Nova Duração (h)	Diferença Duração (i)	% (j)
Fundação	242	8.171,00	un	8,8	0,26	0,07	1	66,85	175,15	72%
Estrutura Pré	60	114	m ³	8,8	4,63	14,71	1	190,51	-130,51	-218%
Estrutura Conv	111	8.171,00	m ³	8,8	0,12	7,80	15	482,53	-371,53	-335%
Cobertura	395	35.614,00	m ²	8,8	0,10	0,09	6	61,38	333,62	84%
Piso Concreto	183	34.826,68	m ²	8,8	0,05	0,26	15	68,60	114,40	63%
Contenções	107	2.878,43	m ²	8,8	0,33	0,40	2	64,67	42,33	40%
Alvenaria	355	4.611,04	m ²	8,8	0,68	0,48	3	83,84	271,16	76%
Pintura	120	2.151,99	m ²	8,8	0,49	0,13	1	31,79	88,21	74%
Instalações	521	15,00	gl	8,8	305,58	305,58	7	74,41	446,47	86%
Esquadrias	30	159,49	m ²	8,8	1,66	0,52	1	9,41	20,59	69%
Acabamento	261	12,00	gl	8,8	191,40	191,40	5	52,20	208,80	80%
Impermeab.	7	1,00	gl	8,8	61,60	61,60	1	7,00	-	0%
Testes	3	1,00	gl	8,8	26,40	26,40	1	3,00	-	0%
Total em Dias	2.395							1.196,18	1.198,69	50%
Total em Horas	21.075							10.526,41	10.548,52	50%

Fonte: o autor

Todos os dados de ELP, quantidades, tarefas com taxa de produção foram inseridos no software *Schedule Planner*. As tarefas foram sequenciadas de acordo com a figura 51 de acordo com a técnica construtiva. Uma particularidade que nas tarefas do galpão a cobertura vem antes da alvenaria e nas áreas não repetitivas a alvenaria ocorre antes da cobertura. Essa particularidade também ocorre no cronograma original. Uma premissa inicial é de a equipe mobilize uma única vez e execute todo o trabalho continuamente até sua conclusão. Isso fez com que o algoritmo do LBMS produzisse uma primeira versão do cronograma o qual se prolonga por quase sete anos ao invés dos oito meses disponíveis.

Foram aplicadas as seguintes técnicas de otimização citadas na literatura (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010) para otimizar a duração total deste cronograma gerado preliminarmente:

- (i) Alteração da quantidade de equipes. Como as taxas de produção são constantes, a duração de cada tarefa reduziu e a inclinação da linha de fluxo tornou-se mais

íngreme. Procurou-se aqui atingir inclinações as mais similares possíveis indicando assim um ritmo similar entre as tarefas. Esse ritmo foi mais bem alcançado na área repetitiva da obra devido ao escopo similar entre os locais. Essa alocação de equipes, bem como as novas durações, está apresentada nas colunas g e h da tabela 2, respectivamente.

- (ii) Alteração de sequência de execução. A sequência proposta inicialmente no PBL foi a mesma do cronograma original, a qual percebeu-se a escolha por um plano de ataque das equipes para locais adjacentes ao que a tarefa é executada. Essa escolha de sequência e a análise do plano de ataque pôde inibir algumas perdas por transporte de materiais e deslocamento de equipes desnecessariamente. Entretanto, ao contrário do cronograma original, foi possível promover uma redução no prazo total ao alterar a sequência dos setores do galpão (ao invés de depósito 1, 2, 3 e 4 originalmente previstos no PBA considerou-se 2, 1, 4 e 3 no PBL). Não foram observadas reduções no prazo nas tentativas de alteração de sequência das áreas não repetitivas. Entretanto encontrou-se uma oportunidade de executar a alvenaria e instalações das áreas não repetitivas (sequência vermelha na figura 50) antes que estas equipes fossem necessárias na área do galpão (sequência azul na figura 50).
- (iii) Divisão de tarefas em equipes para atuarem em locais paralelamente. Essa otimização foi realizada nas atividades de: fundação (fazendo-a iniciar simultaneamente no galpão e nas áreas não repetitivas) e estrutura convencional (fazendo-a iniciar no reservatório e na portaria 1). A fundação foi escolhida pois estava empurrando todas as tarefas da área não repetitiva para frente. A estrutura convencional foi escolhida pois ainda estava com ritmo muito lento e não compensaria mais aumentar as equipes, pois ficariam muitos funcionários trabalhando em uma área muito pequena.

A otimização parou quando se atingiu o prazo necessário de oito meses de obra. A versão final do cronograma é apresentada na figura 52 (inferior).

4.2.3 Análise dos resultados do Estudo de Caso 1

O cronograma PBL promoveu uma reorganização nas tarefas. A utilização de taxa de produção do PBL ao invés das durações fixas do PBA traz mais confiabilidade ao cronograma. Todas as interferências de tarefas que ocorriam no mesmo local ao mesmo tempo puderam ser removidas no PBL. A aplicação do PBL também proporcionou fluxo contínuo das

equipes. As equipes mobilizam e avançam em uma sequência específica de locais e só desmobilizam quando todo o trabalho é concluído. A divisão de tarefas para serem executadas em dois locais ao mesmo tempo só foi necessária nos serviços de fundação e estrutura convencional. Todas as demais trabalham de forma unificada.

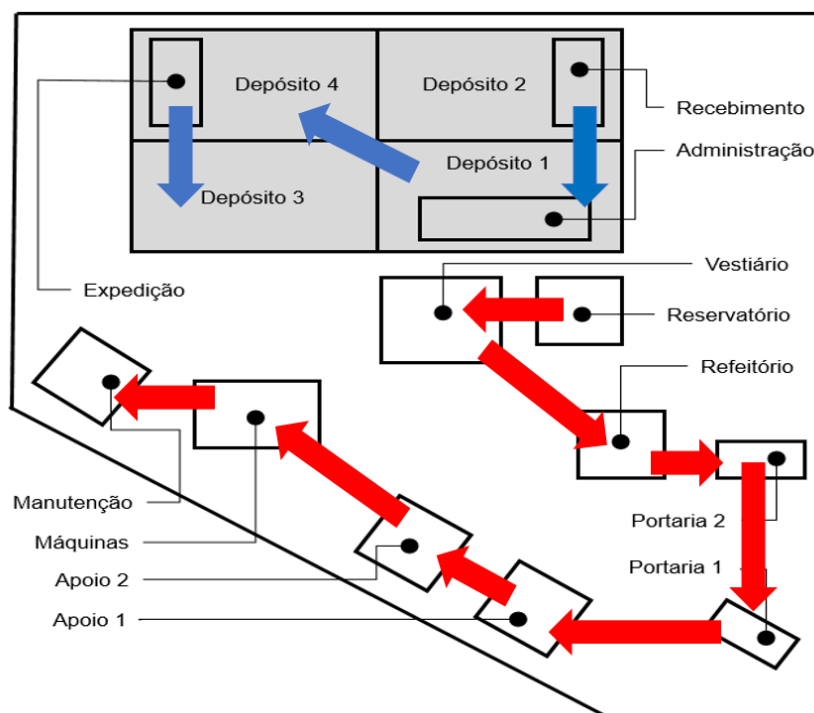


Figura 50: Plano de ataque do Estudo de Caso 1

Fonte: o autor

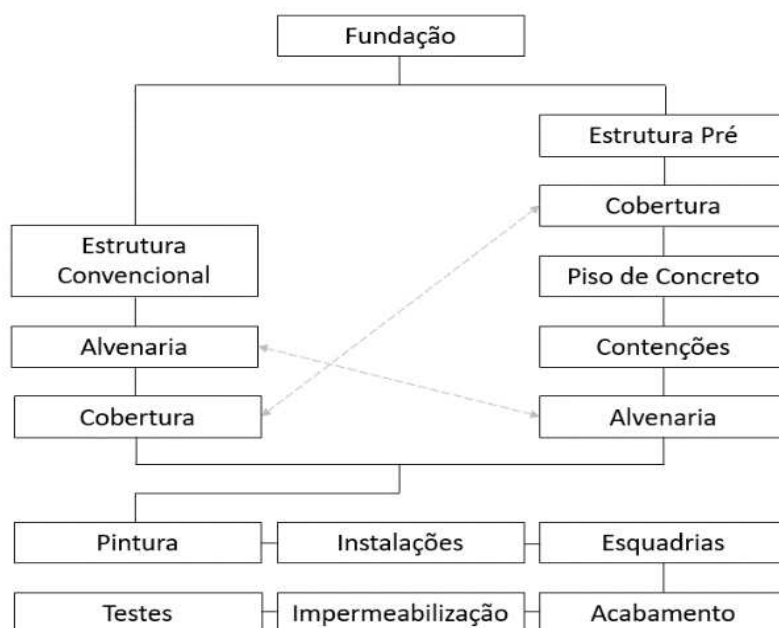


Figura 51: Sequenciamento das atividades do Estudo de Caso 1

Fonte: o autor

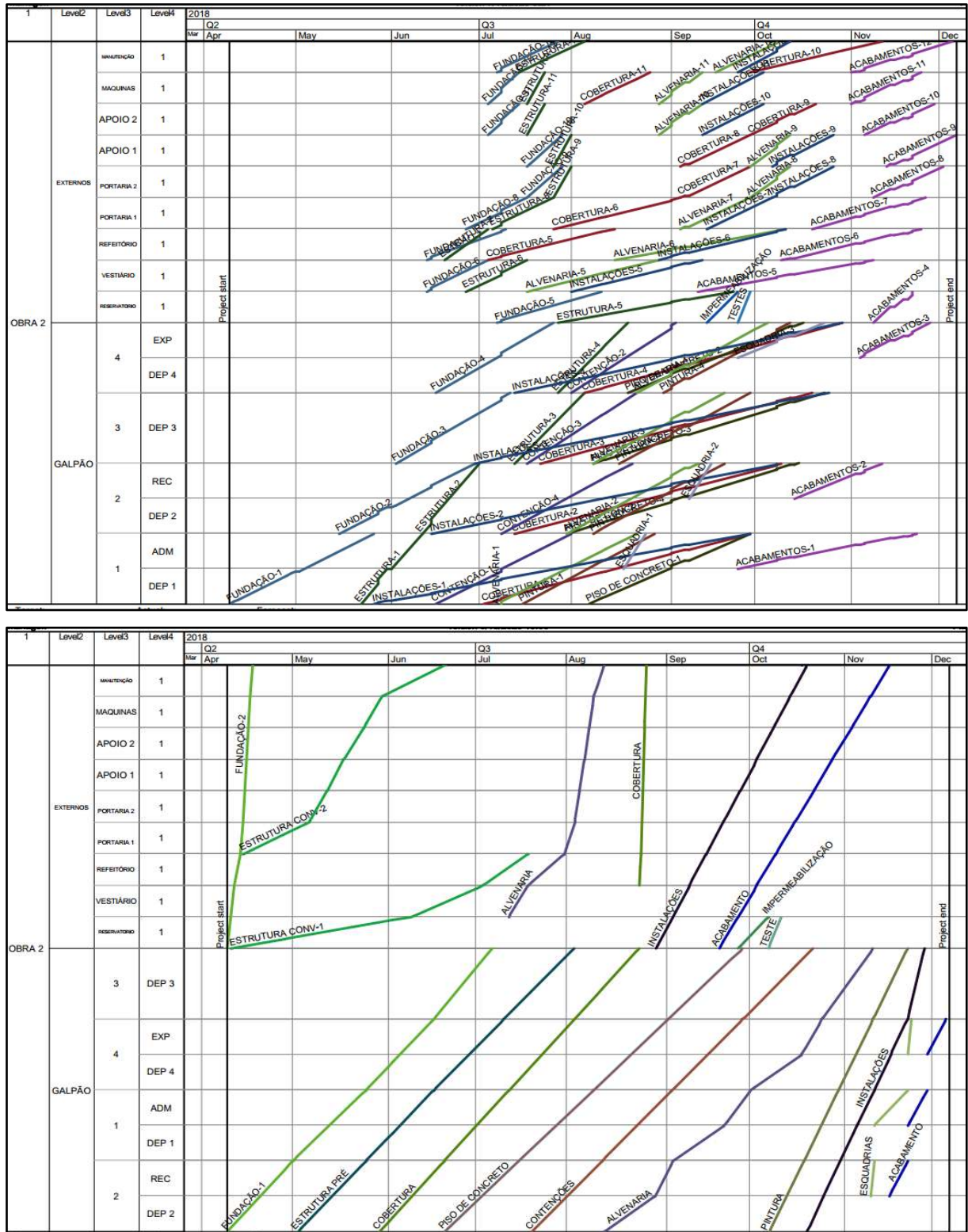


Figura 52: Cronograma do Estudo de Caso 1 em PBA (superior) e PBL (inferior)

Fonte: o autor

4.3 Estudo de Caso 2

Esta seção trata do estudo de caso 2. Da mesma forma que no caso piloto e estudo de caso 1, a identificação da obra, os documentos disponibilizados e os dados catalogados do cronograma original em PBA são apresentados. O cronograma PBA é convertido para o formato de visualização do PBL. E, na sequência, o cronograma em PBL é desenvolvido tendo em vista as boas práticas e otimização da ferramenta já apresentadas no capítulo 3

4.3.1 Identificação da obra

A construtora responsável pelo planejamento da obra do estudo de caso 2 será chamada nesta de pesquisa de Empresa C. Trata-se de uma empresa que atua em grandes obras de infraestrutura em diversos continentes ao longo de muitas décadas. Ela é reconhecida no mercado da construção como uma empresa inovadora e por divulgar diversos casos de aplicação dos conceitos da construção enxuta ao longo das muitas décadas de existência. Da mesma forma que nas demais obras estudadas nesta pesquisa, faz-se necessário manter o sigilo na identificação da empresa e da obra investigada. Diferente dos demais casos, a Construtora C trabalha em sua maioria com mão de obra própria e terceiriza apenas serviços específicos.

O estudo de caso 2 investiga uma obra de infraestrutura urbana executada pela Empresa C. Obras de infraestrutura são caracterizadas por poucos elementos construtivos, porém com uma quantidade elevada e geralmente distribuídos em locais muito grandes. Estradas, redes de coleta de esgoto, pista de aeroporto, pontes e sistemas de distribuição de energia são exemplos de obras de infraestrutura. Uma obra de infraestrutura é comumente classificada como contínua e não uniforme conforme apontado no capítulo 2. Entretanto, a obra estudada é constituída de vários elementos estruturais de grande escala e cada um possui tamanhos e quantidades de trabalhos extremamente variados. Mesmo sendo uma obra de infraestrutura, a obra possui características não repetitivas.

4.3.2 Coleta de dados e aplicação do PBL no Estudo de Caso 2

Os seguintes documentos foram disponibilizados pela Empresa C:

- (v) Cronograma inicial da obra PBA elaborado no Microsoft Project;
- (vi) Projetos de todo empreendimento;
- (vii) Planilhas de medição e controle utilizados para cada equipe;

O cronograma em PBA elaborado pela construtora é extremamente detalhado e extenso, ele possui cerca de quarenta mil atividades (linhas). Cada atividade traz informações detalhadas do trabalho, a peça a ser executada, recursos, quantidade de trabalho, horas-homem dedicadas com as devidas taxas de produção esperadas. A obra é dividida em sete locais fortemente definidos por elementos estruturais específicos, o que torna a identificação da ELP mais fácil. As quarenta mil atividades detalhadas puderam ser reunidas de acordo com o elemento estrutural, ao todo são 1679 elementos (28 grupos de estacas, 386 blocos, 386 pilares, 718 vigas e 161 lajes). Essas quantidades estão distribuídas nos sete locais conforme a tabela 3. Por se tratar de peças estruturais a sequência de execução também é fortemente definida das estacas até as lajes conforme figura 53. A sequência de locais no cronograma original também é bem definida como indo do local 1 ao 7. A coleta e catalogação dos dados do estudo de caso 2 não é apresentada como apêndice a esta pesquisa como nos demais caso. Isso porque as 1679 atividades com o volume de informações de data de início, duração e quantidade de trabalho separadas por local ficariam muito extensas e não seriam essenciais para o entendimento da aplicação do método. Um resumo das durações pode ser observado na tabela 4. Por fim, todas as 1679 atividades planejadas por meio do PBA foram plotadas em um gráfico (no formato de visualização do PBL) de acordo com a data de início e duração de cada atividade em cada local. Esse gráfico é apresentado na figura 54 (superior).

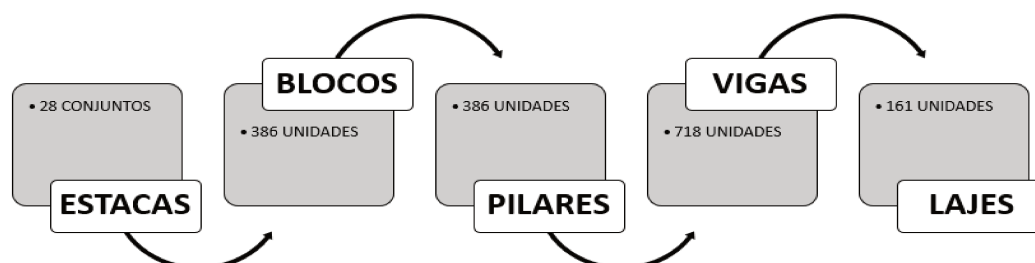


Figura 53: Sequenciamento das atividades do Estudo de Caso 2

Fonte: o autor

Tabela 3: Quantidade de atividades em cada setor do Estudo de Caso 2

ELP	ESTACAS		BLOCOS		PILARES		VIGAS		LAJES	
1	2	7%	18	5%	15	4%	59	8%	14	9%
2	7	25%	100	26%	94	24%	185	26%	31	19%
3	4	14%	64	17%	57	15%	113	16%	25	16%
4	4	14%	51	13%	55	14%	128	18%	38	24%
5	3	11%	36	9%	35	9%	59	8%	12	7%
6	4	14%	45	12%	57	15%	85	12%	26	16%
7	4	14%	72	19%	73	19%	89	12%	15	9%
SOMA	28		386		386		718		161	

Fonte: o autor

Tabela 4: Duração das atividades do cronograma PBA do Estudo de Caso 2

ELP	ESTACAS	BLOCOS	PILARES	VIGAS	LAJES	SOMA
1	168	262	229	2.938	152	3.749
2	199	1.162	1.861	3.092	348	6.662
3	158	707	959	2.032	302	4.158
4	171	893	990	1.838	284	4.176
5	81	519	208	988	88	1.884
6	143	749	362	1.322	255	2.831
7	119	831	508	1.382	165	3.005
Soma em dias	1.039	5.123	5.117	13.592	1.594	26.465
Soma em horas	9.143,20	45.082,40	45.029,60	119.609,60	14.027,20	232.892,00

Fonte: o autor

Tabela 5: Quantidade de equipes em cada tarefa do Estudo de Caso 2

QUANTIDADE DE EQUIPES	2	13	13	34	4
ELP	ESTACAS	BLOCOS	PILARES	VIGAS	LAJES
1	84	20	18	86	38
2	100	89	143	91	87
3	79	54	74	60	76
4	86	69	76	54	71
5	41	40	16	29	22
6	72	58	28	39	64
7	60	64	39	41	41
Soma das durações (dias)	520	394	394	400	399
DURAÇÃO DA OBRA:					867

Fonte: o autor

Próximo passo é a elaboração do PBL para o estudo de caso 2. Tendo em vista o nível elevado de detalhamento do cronograma original, o PBL teve particularidade não vistas nos demais casos. A ELP, quantidade de trabalho, sequência de tarefas e locais estão fortemente definidas não foram alteradas. A taxa de produção das tarefas está proporcional ao escopo e foram baseadas no banco de dados pra própria construtora, portanto não justifica fazer qualquer alteração nas durações. Entretanto o cronograma PBA possui atividades bastante difusas e espalhadas por vários locais ao mesmo tempo além de uma oscilação muito grande de recursos. Por exemplo, a atividade de estacas (linhas verdes) no cronograma PBA, em determinado momento, estaria sendo executada nos 7 setores ao mesmo tempo. Para adotar PBL e as premissas desta pesquisa de tentar promover o fluxo contínuo das equipes, foi feito um nivelamento para um número fixo de equipes para cada tarefa e eliminar essa oscilação. A tabela 5 mostra como a quantidade equipes foi definida, depois de várias interações, chegou no número de 2 equipes para estacas, 13 para blocos, 13 para pilares, 34 para vigas e 4 para lajes. As

interações foram feitas até que se atingisse uma soma de durações similares entre si (próximo de 400 dias), o que reflete no ritmo mais sincronizado possível entre as tarefas. As interações e incremento de recursos continuaram até atingir os 867 dias úteis disponíveis para a obra. Por fim, o cronograma resultante no PBL é apresentado na figura 54 (inferior).

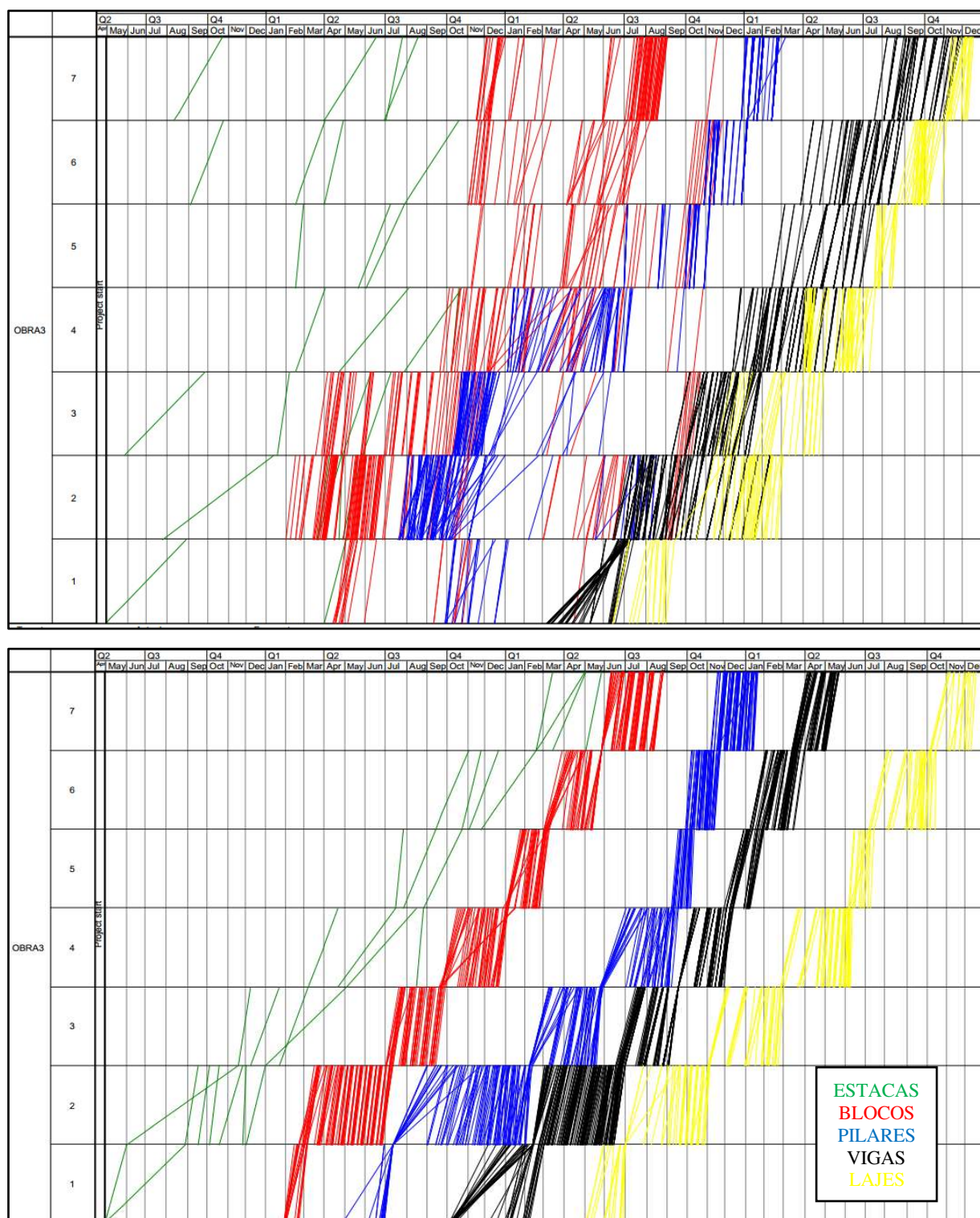


Figura 54: Cronograma do Estudo de Caso 2 em PBA (superior) e PBL (inferior)
Fonte: o autor

4.3.3 Análise dos resultados do Estudo de Caso 1

O principal benefício obtido com a aplicação do PBL é a estabilização da quantidade e promoveu fluxo contínuo aos recursos alocados. As equipes formadas na tabela 5 mobilizam uma única vez e permanecem até que todo o trabalho seja concluído na sequência determinada para aquela equipe. O sequenciamento de tarefas bem definido entre os tipos diferentes de tarefas restringiu que mais de um tipo seja executado no mesmo local ao mesmo tempo. Por exemplo, os pilares de um setor não iniciam até que todos os blocos do setor inteiro sejam concluídos. Essas interferências entre tipos de tarefas foram eliminadas. Com base na literatura, seria recomendável que essa obra fosse dividida em setores menores. Com essa redução, boa parte dos espaços vazios do cronograma seriam preenchidos e as tarefas adensadas no gráfico. Mas essa otimização poderia ser implantada se houvesse a necessidade de redução da duração total do projeto, o que não é o caso, já que o prazo total foi obtido apenas com a estabilização da quantidade de recursos.

4.4 Criticalidade nos casos estudados

Serão apresentados a seguir os cronogramas PBL do estudo de caso piloto, 1 e 2 respectivamente. Alguns destaques e marcações foram inseridos para orientar as discussões quanto à criticalidade nas seções seguintes.

4.4.1 Criticalidade no estudo de caso piloto

As discussões desta seção são referentes ao cronograma apresentado mais à frente na figura 55.

A primeira etapa para identificação da criticalidade é localizar no cronograma a sequência de tarefas mais longa e que não tenha folga. No estudo de caso piloto, essa sequência inicia no ponto 1 e percorre os pontos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 até o ponto 9. As tarefas foram destacadas com as cores vermelha, verde escuro, verde claro, amarelo, cinza e roxo na sequência do ponto 1 ao 9. As setas vermelhas ao longo da sequência crítica marcam os pontos onde a criticalidade é transmitida de uma tarefa para outra. A primeira observação pode ser feita logo no início, na marcação vermelha, a tarefa é crítica do ponto 1 ao ponto A. No ponto A, a criticalidade é transmitida de uma tarefa para outra, ainda no local “SALA” da ELP. Nota-se que a primeira tarefa deixa de ser crítica ao avançar para os locais “RECE” e “AUDI”, até o ponto B. A tarefa

entre os pontos A e B, nos locais “RECE” e “AUDI”, tem folga. A data de término no ponto B poderia ser atrasada ou postergada sem que houvesse impacto na duração do projeto.

Outra observação é sobre a sequência destacada em azul do ponto C ao D. Essa sequência não possui folga entre esses dois pontos e quase fez parte da sequência crítica do projeto. Observa-se que os pontos 2 e D marcam o final das sequências vermelha e azul respectivamente e a sequência azul termina depois da vermelha com uma diferença de meio dia de duração. Ambas as sequências impactam na sequência verde escuro, pois são requisitos para seu início. Antes da aplicação dos processos de otimização de cronograma, a sequência de execução da tarefa verde escuro era: “SALA”, “AUDI” e “CIRC”. Se essa sequência de locais fosse mantida, a sequência crítica de tarefas dos projetos seriam as destacadas em azul e não as de vermelho. Entretanto, durante o processo de otimização, a sequência de locais foi alterada para: “AUDI”, “CIRC” e depois “SALA”. Essa inversão fez com que a sequência crítica de tarefas fosse da azul para a vermelha, o que ocasionou uma redução de meio dia na duração total do projeto.

O ponto 3 marca a transmissão da criticalidade da tarefa verde claro para a amarela. Observa-se que a tarefa amarela possui fluxo contínuo, ou seja, é executada sem interrupção do ponto 4 até o ponto E. As setas azuis apontam a sequência de avanço da tarefa. Entre os pontos 3 e E a tarefa deixa de ser crítica e apresenta uma folga. Essa folga é de aproximadamente três dias, esse é o tempo que o ponto E poderia atrasar antes de impactar na tarefa cinza. Um destaque importante deve ser dado ao algoritmo de cálculo do PBL. A data de início da tarefa amarela no ponto 4 é calculada pela data que ocorre a transferência de criticalidade no ponto 3, que acontece em uma data posterior ao início da tarefa. Essa situação expõe a diferença de agendar tarefas “o mais breve possível”, usualmente utilizado no PBA, para “o mais tarde possível” a fim de gerar fluxo contínuo, usualmente utilizado no PBL.

Uma questão a ser abordada neste caso é: por que o ponto 4 precisou ser levado para o início mais tarde possível para manter a continuidade tendo vista todos os riscos envolvidos em uma construção? Considerar que a equipe mobilizará e desempenhará uma taxa de produção ótima pode ainda parecer utópico em um cenário onde a construção é predominada por processos artesanais. Com base na literatura existente, sugerem-se três alternativas para combater esse risco de atraso na sequência crítica. A primeira seria elaborar o planejamento inicial já com uma taxa de produção reduzida nos primeiros locais, tendo em vista os conceitos de aprendizagem da equipe (ARDITI, TOKDEMIR, SUH, 2001b). A segunda, menos preferida do ponto de vista da construção enxuta, é inserir *buffer* no início da tarefa para combater a incerteza relacionada com a mobilização. É uma abordagem de *buffer* diferente do habitual, que

geralmente se emprega na data de término de uma tarefa. E a terceira, mais familiarizada com a construção enxuta, é intensificar a eliminação de restrições com a utilização do *Last Planner System*. Isso significaria manter o cronograma com essa taxa produção ótima desde o início e deixar para que assuntos como mobilização, treinamentos, informações e logística sejam tratados no planejamento de médio prazo.

A tarefa cinza também faz parte da sequência crítica do projeto. Ela inicia no ponto 5 e termina no ponto 6. A tarefa cinza recebe a criticalidade da tarefa amarela logo no primeiro local (2SS ADM) e transmite a criticalidade somente no último, ou seja, ela é crítica ao longo de toda a permanência na obra. Observa-se também o ritmo da tarefa cinza (inclinação das linhas) é muito similar ao ritmo da tarefa amarela. Essa sincronização entre as tarefas faz com que a criticalidade quase seja transmitida em outros pontos ao longo do cronograma, destacados pelas setas cinzas. O início mais tarde no agendamento da tarefa amarela retira da tarefa cinza qualquer alternativa de manobra para adiantamento. Observa-se ainda que em um certo período existem três tarefas da sequência crítica ocorrendo ao mesmo tempo (verde claro, amarelo e cinza). Esses agravantes trazem mais risco quanto ao atendimento do prazo do projeto, reforçando a ideia de antecipação do início da tarefa amarela ou ao menos um tratamento especial para assegurar o início e andamento adequado.

O cronograma do caso piloto é o mais complexo dos três casos estudados devido ao seu alto grau de não repetitividade. Uma parte significativa das tarefas do cronograma são específicas a um determinado local e não existe um fluxo dela permeando vários locais. Isso traz restrições singulares ao cronograma como, por exemplo, recursos tem uma data específica para realizar um trabalho de curta duração na obra. Muitas vezes, o PBL trata essas tarefas sem repetição por meio do *layer 5* como uma restrição de um recurso externo à obra. O segundo critério de criticalidade trata justamente deste aspecto; uma tarefa será crítica se for alocada em um local que promova atraso na sequência mais longa e sem folga. A tarefa destacada em roxo é a tarefa de limpeza final de obra e é a mais impactada por essas tarefas. Na figura 45, que apresentou anteriormente o sequenciamento de tarefas do projeto do estudo de caso piloto, mostra sete tarefas que antecedem a limpeza. Essas sete tarefas são altamente não repetitivas e algumas delas estão apontadas com setas pretas no cronograma. Aquela que teve o término mais tarde dentre as sete, impactou a data de início da limpeza, que, após iniciada, flui continuamente até o final do projeto.

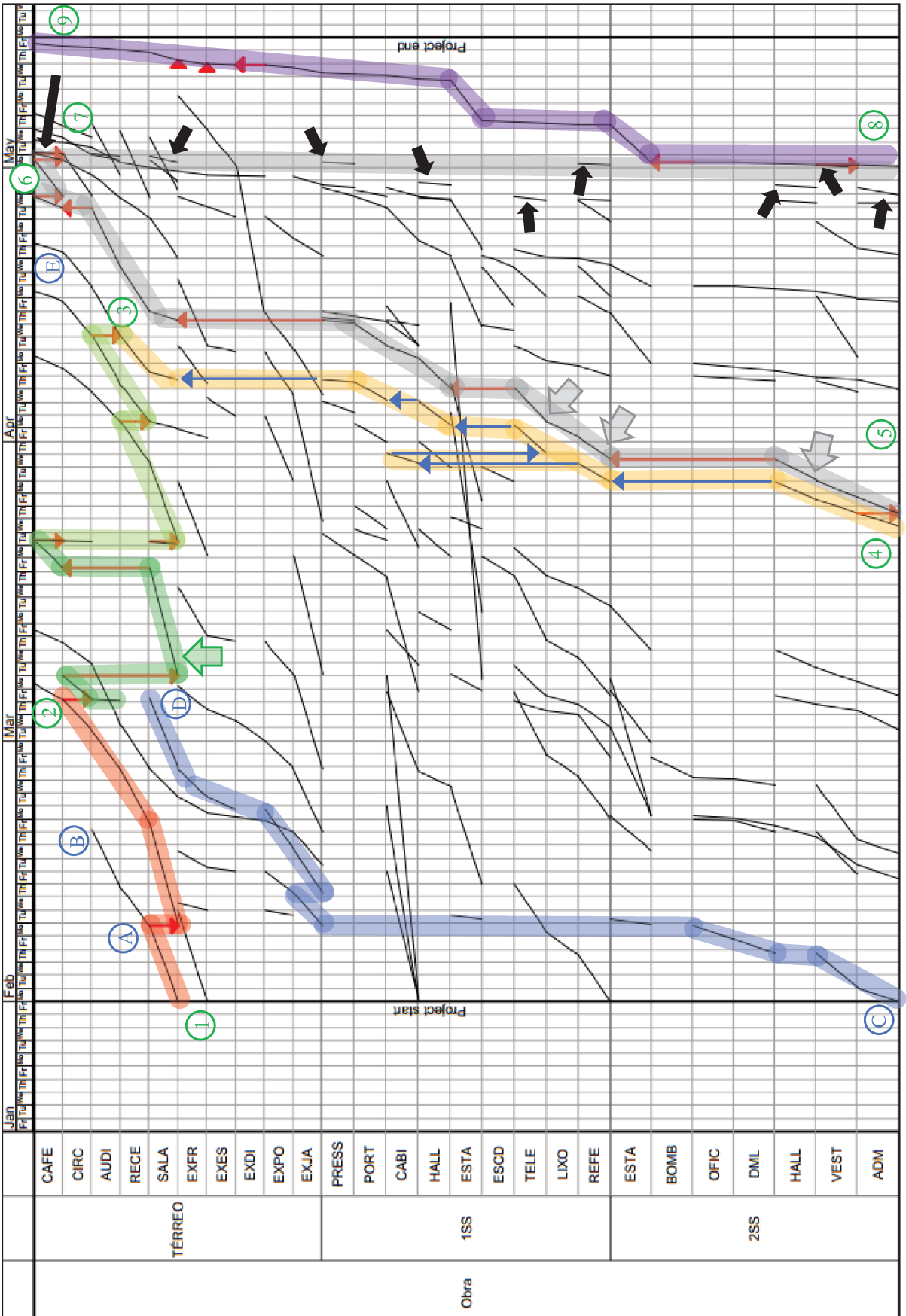


Figura 55: Criticalidade do cronograma PBL do Estudo de Caso Piloto

Fonte: o autor

Não foi constatado no caso piloto uma tarefa que seja crítica de acordo com o terceiro critério, pois nenhuma tarefa promoveu descontinuidade na sequência crítica amarela. Não significa que o cronograma não tenha tarefas descontínuas. Para atingir o prazo da obra, algumas tarefas sofreram a divisão de equipes em mais de um local e aplicação proposital de descontinuidade seguindo os métodos de priorização do PBL. Com isso, essas tarefas deixaram de ser críticas neste plano mestre inicial de obra.

A tarefa apontada com a seta verde no cronograma é a que possui a taxa de produção mais lenta no caminho mais longo e sem folga. Isso a torna a tarefa mais crítica do cronograma de acordo com os critérios de criticalidade de Buckmann-Slorup (2012). Na elaboração do cronograma evitou-se a oscilação de recursos ao longo do projeto, e, nesta tarefa, os recursos mantêm o dimensionamento de equipe desde os primeiros locais, onde há menos escopo, até neste local destacado, onde será necessário mais tempo dedicado. Uma sugestão que este planejamento pode trazer é avaliar na época da execução as alternativas para aceleração e aumento dessa taxa. Isso pode ser buscado desde ampliação da equipe até a utilização de alternativas tecnológicas ou de gestão e logística.

4.4.2 Criticalidade no estudo de caso 1

As discussões desta seção são referentes ao cronograma apresentado na figura 56. O estudo de caso 1 possui mais de uma sequência crítica, porém o mais longo e sem folga está destacado em vermelho. Diferente do caso piloto, essa sequência crítica parte desde o início do projeto (ponto A) e vai até a data final (ponto B). As tarefas de fundação, estrutura pré-moldada, cobertura, piso de concreto e contenções da área do galpão possuem taxa de produção (inclinações) muito similares, mas não são exatamente iguais. Próximo ao ponto A, a fundação é concluída no setor 2 e a estrutura pré-moldada tem uma folga de poucos dias para iniciar. A folga deixa de existir no setor 4, quando a estrutura deve iniciar assim que a fundação for concluída. Portanto, a estrutura pré-moldada não é crítica nos setores 2 e 1, mas ela é crítica no setor 4 (terceiro setor na sequência de ataque). E se a equipe não concluir, com terminalidade, os setores 2 e 1 no tempo previsto, e se não estiver pronta para executar o setor 4 exatamente como planejado, poderá comprometer o projeto como um todo. Uma observação importante é que a sequência não avança sempre no sentido da escala de tempo (da esquerda para direita). Isso é causado devido a tarefa sucessora transmitir a criticalidade à sucessora em um ponto posterior. Isso ocorre quando a estrutura pré-moldada transmite a criticalidade para a cobertura somente no setor 4, já a cobertura transmite para o piso já no setor 2. O mesmo caso ocorre em outras duas situações na sequência vermelha.

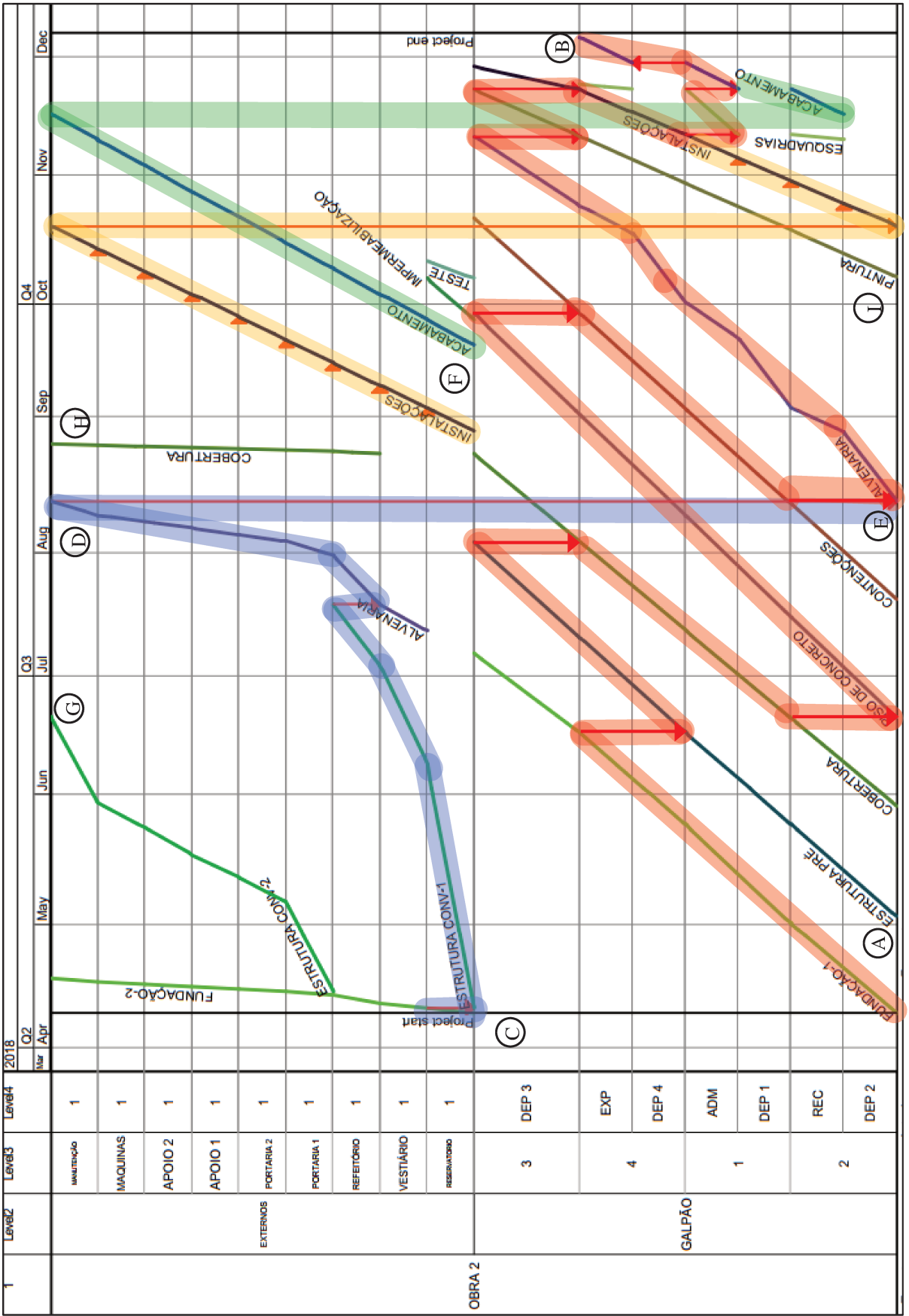


Figura 56: Criticalidade do cronograma PBL do Estudo de Caso 1
Fonte: o autor

A sequência destacada em azul só não é a mais crítica porque não é a mais longa mas, da mesma forma, não possui folga. Essa sequência está entre os pontos C e D, que correspondem a fundação do reservatório, a estrutura convencional de 3 setores periféricos e a alvenaria de todos os setores externos. Se não for realizada nas datas planejadas a equipe não poderá ser disponibilizada para a executar a alvenaria do galpão (ponto E). Um atraso aqui implicaria no futuro em ter que trabalhar com equipes paralelas, oscilação de recursos ou ainda com ausência de fluxo contínuo em alguns setores para atender o prazo final da obra, já que não haveria tempo suficiente para fazer a alvenaria dos setores externos após a alvenaria do galpão.

Outras duas sequências que requerem atenção são as instalações e acabamentos destacadas com as cores amarelo e verde respectivamente. Ao iniciarem próximos ao ponto F elas possuem folga entre elas, mas são essenciais para o prazo total da obra as equipes estarem disponíveis para executar a área do galpão quando determinado.

O cronograma do estudo de caso 1 pode parecer menos complexo que o caso piloto porque atingiu-se um ritmo similar nas tarefas do galpão. É difícil determinar qual é a tarefa com a menor taxa de produção da sequência vermelha, pois o ritmo entre quase todas é muito parecido. Entretanto, as tarefas dos setores externos não deixaram de ser críticas nas situações discutidas. E uma atenção especial deve ser dada ao executar a estrutura convencional. Ela é claramente a mais lenta do cronograma, porém a sua baixa taxa de produção não é transmitida para as sucessoras. Entretanto ela prorroga a data de início da sucessora.

Esse estudo também é um bom exemplo de como as perdas do ponto de vista da construção enxuta se comportam como folgas em uma situação real. As perdas referem-se aos espaços vazios no cronograma, locais que aguardam a equipe ou as equipes aguardam os locais a serem liberados. Por exemplo, a segunda equipe de estrutura convencional que termina no ponto G e possui bastante folga. Se ela atrasar não impactará o prazo do projeto, ou ainda ela pode ser atrasada intencionalmente por alguma outra necessidade como melhoria do fluxo financeiro de desembolso. A tarefa de cobertura tem uma folga similar. Depois que a cobertura do setor 4 do galpão é concluída, e deixa de estar na sequência crítica, ela tem uma folga até atingir o ponto H. Nestes setores, o término atrasado da cobertura não afeta o prazo total da obra, pelo menos não até consumir a folga de mais de um mês disponível. Outra folga significativa está no início da pintura do galpão no ponto I. Por se tratar de um serviço mais rápido teve seu início postergado, neste caso a folga está antes do início dela.

Não foi constata uma tarefa que alocada em um local específico afete a sequência crítica, e nem uma tarefa que promova a falta de continuidade como os conceitos ii e iii da criticalidade. Com base apenas neste estudo de caso, é possível determinar várias sequências

críticas como uma árvore de várias ramificações. A sequência vermelha atende o conceito i da criticalidade seguido de perto pela sequência azul. O início das sequências amarela e azul possuem um grau menor de criticalidade quando comparado com as outras, mas não deixam de ser igualmente relevantes. Assim como no caso piloto, a data de início das tarefas de estrutura, cobertura e contenções não estão na sequência crítica no primeiro local alocado, mas podem comprometer o prazo do projeto se não realizada conforme planejado.

4.4.3 Criticalidade no estudo de caso 2

As discussões desta seção são referentes ao cronograma apresentado mais à frente na figura 57.

O cronograma do estudo de caso 2 possui 1.679 tarefas e, para poder visualizar a sequência mais longa sem folga, foram deixadas as linhas em negrito correspondentes aos elementos estruturais deste caminho e as demais foram esmaecidas. Com as discussões promovidas no estudo de caso 1 e piloto, as interpretações deste caso podem ser mais diretas tendo em vista a convergência de observações. A tarefa com a menor taxa de produção são as estacas (linhas verdes). As estacas fizeram com que o início das demais tarefas ficassem com folga antes da data de início (pontos 1, 2, 3 e 4) tendo em vista a premissa de manter o fluxo contínuo dos recursos. Mas essas datas de início se tornarão críticas se eventualmente atrasarem além desse limite estimado no cronograma. Pode-se fazer as mesmas sugestões que o caso piloto para evitar esse atraso: taxas de produção menores nos primeiros setores, inserção de *buffers* de início ou implantação efetiva do plano de médio prazo do *Last Planner System*.

Observa-se aqui também que as tarefas de bloco, pilar e viga possuem folga na data de término. Os pontos 5, 6 e 7 estão previstos para concluírem nestas datas, mas podem atrasar sem impacto no prazo do projeto. O atraso pode ser intencional, dependendo da necessidade podendo variar desde aspectos financeiros até a capacidade de comportar no canteiro um efetivo de funcionários tão elevado. A redução de equipe e atraso só pode ser implantada após as tarefas já terem concluído nos locais onde elas são críticas. No caso dos blocos, apenas o setor 7 poderia ser atrasado.

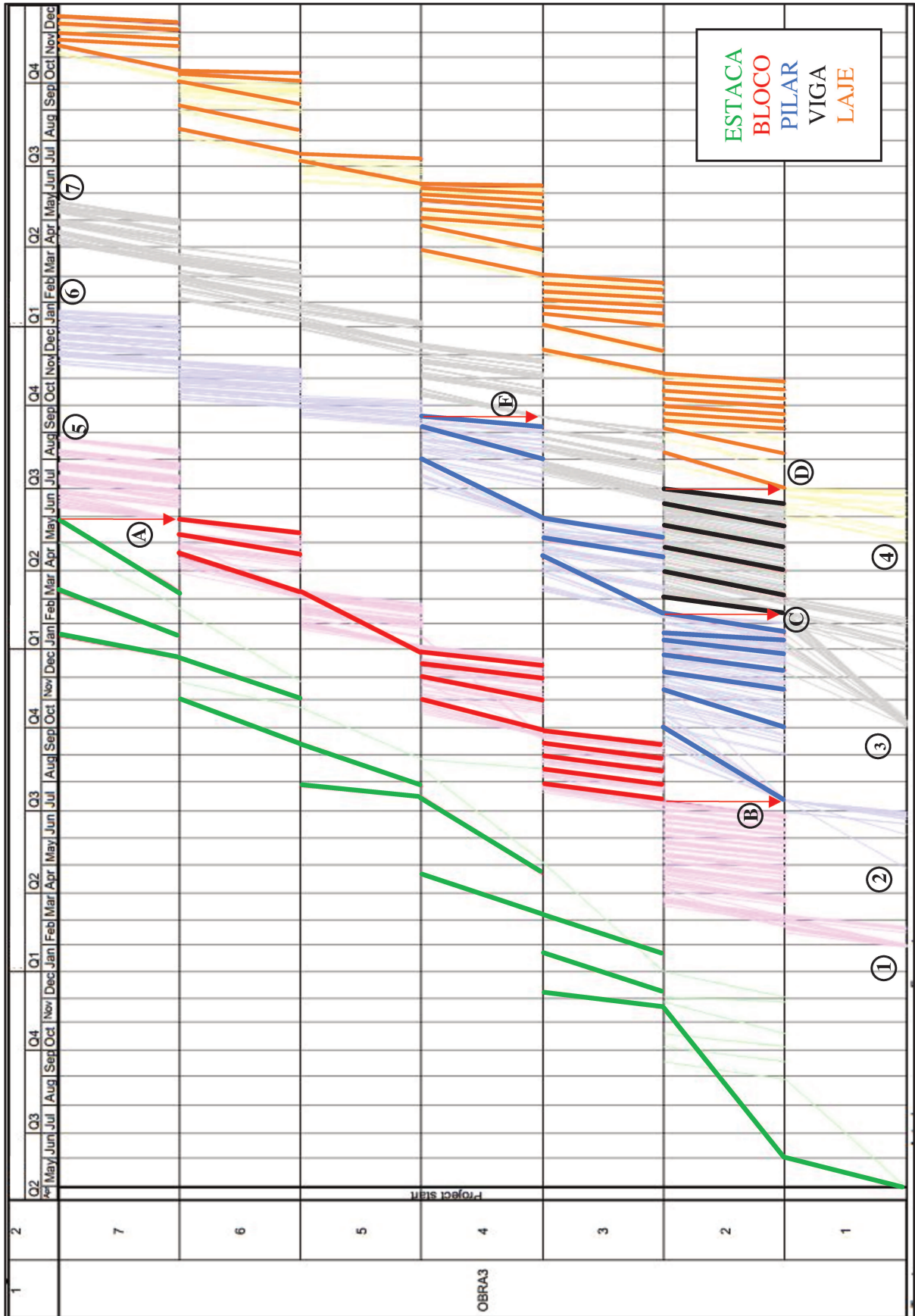


Figura 57: Criticalidade do cronograma PBL do Estudo de Caso 2

Fonte: o autor

Uma situação diferente dos demais ocorreu no estudo de caso 2. O ponto C transmite a criticalidade da tarefa dos pilares para as vigas. Com isso o algoritmo do *software* calculou a data de início no ponto 3 para que as vigas evoluam sem interrupções. Por uma coincidência, os pilares no setor 4 terminam exatamente quando as vigas iniciam, criando assim o ponto E, que também transmite a criticalidade para as vigas. Portanto, as folgas disponíveis dos pilares só se aplicam nos setores 5, 6 e 7. Se os pilares atrasarem no setor 4, o algoritmo da sequência crítica seria recalculado e o início no ponto 3 seria uma data posterior e comprometendo o prazo da obra. Ou uma ação para promover uma descontinuidade na tarefa das vigas poderia ser necessária. Essa situação descreve o conceito iii da criticalidade de Buchmann-Slorup (2012) o qual diz que a tarefa é crítica se causar descontinuidade em alguma das tarefas que pertençam à sequência com maior duração total com folga igual a zero.

4.5 Síntese dos resultados

A figura 58 apresenta resumidamente os principais dados extraídos dos cronogramas PBA e PBL dos três estudos de caso. Os casos expuseram a utilização de *buffers* do PBA e com a aplicação das boas práticas do PBL houve uma redução de 29% no caso piloto e 50% no estudo de caso 1. No estudo de caso 3 não foi identificado o uso de *buffers* ou contingências nas durações.

Outro destaque de benefício do PBL sobre o PBA é a redução de tarefas executadas no mesmo local ao mesmo tempo. Essas interferências foram contabilizadas e apresentadas na figura 58. O estudo de caso piloto reduziu as interferências de 111 no PBA para 39 no PBL (redução de 65%). No estudo de caso 1 havia 117 interferências e no PBL não houve nenhuma (redução de 100%). E no estudo de caso 2 havia 18 no PBA e foram eliminadas no PBL (redução de 100%). Foram consideradas no caso 2 apenas as interferências entre tarefas distintas, por exemplo, lajes sendo executadas enquanto as vigas do setor não haviam sido concluídas. Nos três estudos foi possível implantar o PBL com fluxo contínuo de equipes.

A figura 59 sintetiza de forma sintética as principais situações que interferiram na sequência crítica nos cronogramas PBL nos três casos. As tarefas destacadas em vermelho definem a sequência crítica e qualquer atraso nessas tarefas acarretaria o prazo total do projeto ser dilatado. Por outro lado, qualquer ação tomada nestas tarefas, com o objetivo de otimizá-las, irá beneficiar o projeto com a redução de prazo total. Os termos do diagrama FI e FT significam Folga de Início e Folga de Término respectivamente. Os pontos e as tarefas destacadas em amarelo são “alertas antecipados” para uma situação que pode também

comprometer a duração total. A seguir é a apresentado um breve resumo sobre as situações apresentadas em cada gráfico.

	ESTUDO DE CASO PILOTO	ESTUDO DE CASO 1	ESTUDO DE CASO 2
Empresa	A	B	C
Característica da obra	Periferia de um edifício comercial	Galpão pré-moldado com edificações anexas	Infra estrutura
Prazo	3 meses e meio	8 meses	3 anos
ELP	Por áreas funcionais	Por edificações geograficamente isoladas	Por peças estruturais com tamanhos variados
Quantidade de locais	26	16	7
Área total da obra	18 mil m ² (sendo 12 mil na torre e 6 mil na periferia)	45 mil m ² (sendo 35 mil no galpão e 10 mil nas edificações anexas)	NA
Média de cada local da ELP (área total / quantidade de locais)	230,77 m ²	2.812,50 m ²	NA
Área do menor local da ELP	10 m ² (depósito de material de limpeza no subsolo 2)	80 m ² (portaria 2)	NA
Área do maior local da ELP	1.500 m ² (estacionamento do subsolo 1)	8.750 m ² (depósito 3 – setor do galpão)	NA
Quantidade de linhas no cronograma PBA	900	300	40.000
Quantidade de tarefas no PBL	33	13	1.679
Hh consumidas no PBA	11.032,00	21.075,00	232.892,00
Hh consumidas no PBL	7.862,87	10.526,41	232.892,00
Diferença de Hh	3.169,13	10.548,42	0,00
% de <i>buffers</i> incorporados	29%	50%	0%
Taxa de Produção das tarefas no PBL	Iguais ao PBA da área repetitiva e complementado com SINAPI	Exclusivamente SINAPI e TCPO	Iguais ao PBA
Quantidade de atividades que ocorrem no mesmo local ao mesmo tempo no PBA	111	117	18
Quantidade de atividades que ocorrem no mesmo local ao mesmo tempo no PBL	39	0	0
% de redução das interferências	65%	100%	100%

Figura 58: Síntese dos dados extraídos dos 3 estudos de caso

Fonte: o autor

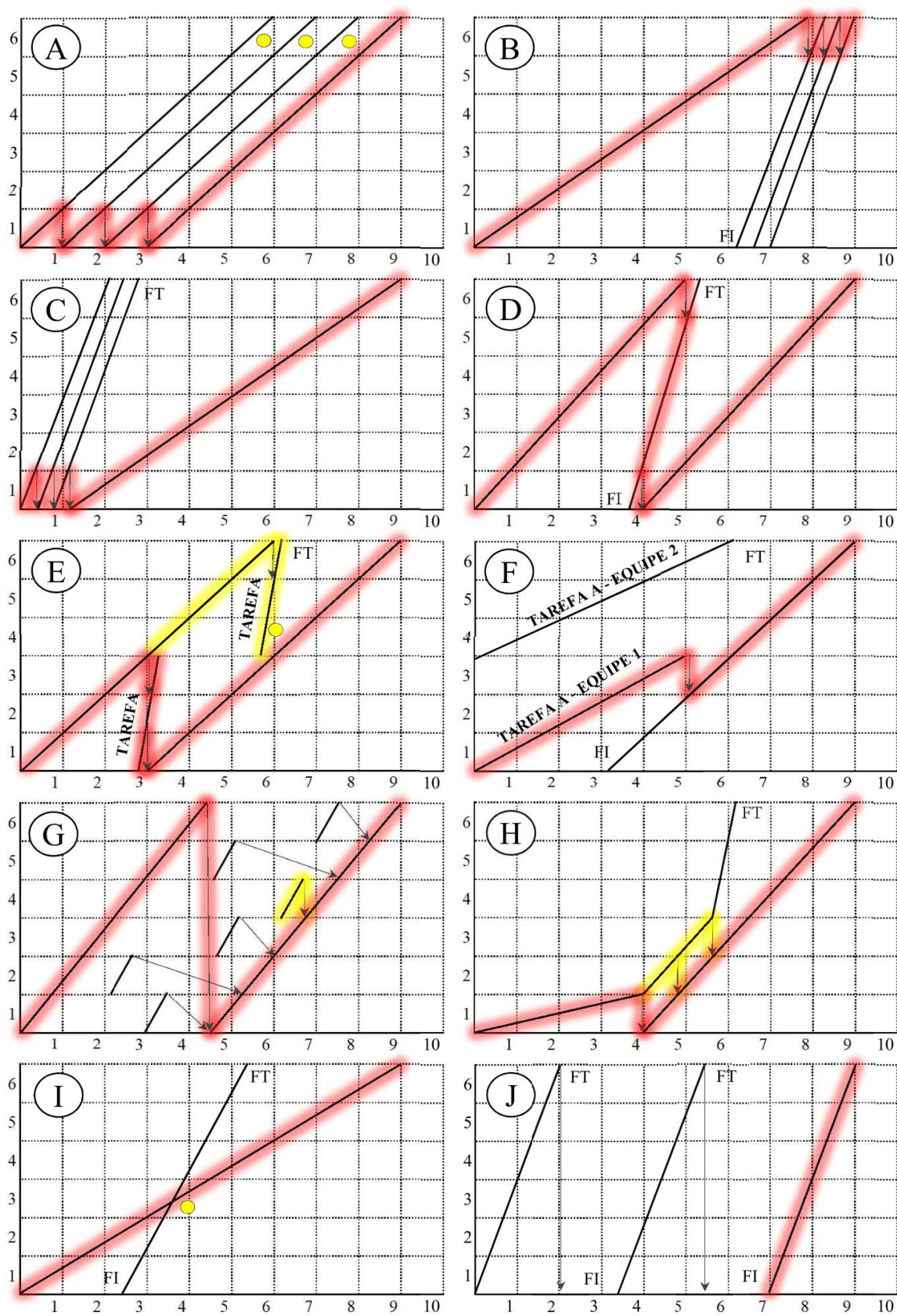


Figura 59: Síntese das criticalidades nos casos estudados

Fonte: o autor

Gráfico A: mostra quatro tarefas exatamente com o mesmo ritmo. Nessa situação a criticalidade é transmitida para a sucessora sempre no primeiro local. No planejamento a data de início de cada tarefa definirá a criticalidade da sequência. Os alertas são para destacar que as taxas de produção devem ser mantidas para atingir o ritmo previsto. Se uma tarefa fora do destaque vermelho atrasar, alguma ação corretiva ainda é possível ser implantada para manter a data de entrega de cada local.

Gráfico B: mostra uma tarefa lenta que transmite a criticalidade apenas no último local. Com isso o algoritmo do LBMS calcula a data de início mais tarde das tarefas sucessoras a fim de manter o fluxo contínuo destas tarefas sucessoras. Esse início mais tarde promove uma folga de início. As tarefas podem até começar antes como medida preventiva (tempo de *set-up*, curva de aprendizado, ou risco de mobilização) mas não podem iniciar depois da data definida como a mais tarde possível. Aqui é possível observar que a tarefa mais lenta é a que mais tempo permanece como crítica e, portanto, é a que tem a maior criticalidade do cronograma.

Gráfico C: mostra o oposto de B, tarefas predecessoras mais rápidas e uma sucessora mais lenta. Essa tarefa mais lenta possui a maior criticalidade. Entretanto, a criticalidade é transmitida para ela já no primeiro local. Após a entrega do primeiro local concluído, as equipes das três primeiras tarefas possuem uma folga de término, ou seja, elas podem atrasar sem comprometer o prazo final.

Gráfico D: mostra uma tarefa mais rápida entre duas tarefas mais lentas. Essa tarefa mais rápida tem uma folga de início no primeiro local e uma folga de término no último local. Observa-se que em um determinado período as três tarefas são críticas. Mas, neste período após a segunda tarefa já ter transmitido a criticalidade para a última, a entrega a obra é determinada pela terceira tarefa. As demais continuam críticas para manter a continuidade dos recursos. Entender a sequência crítica calculada pelo algoritmo do LBMS é essencial para planejadores e executores implantarem ações de otimização.

Gráfico E: mostra três tarefas e a intermediária que teve a continuidade quebrada. Esse artifício trás o benefício de antecipar o início da última tarefa comparado com uma situação se a tarefa intermediária fosse a continuidade forçada como no gráfico D. Neste caso, a criticalidade percorre uma sequência menor, pois as penas os três primeiros locais das duas primeiras tarefas são críticos. Um alerta é apontado para que a segunda tarefa, quando executar os últimos locais, não interfira na terceira tarefa. Caso ocorra essa interferência outras descontinuidades podem surgir ou ainda perder o benefício do início antecipado da última tarefa.

Gráfico F: mostra duas tarefas e a primeira delas sofreu uma divisão em duas equipes trabalhando paralelamente em dois locais ao mesmo tempo. Nota-se que a criticalidade é transmitida para a última tarefa apenas pela equipe 1 no local 3. Essa divisão de equipe fez com que a tarefa da equipe 2 não seja crítica e adquirisse uma folga de término. A criticalidade ser transmitida apenas no local 3 fez com que a última tarefa também adquirisse uma folga de início nos locais 1 e 2. Essa estratégia de divisão de equipe beneficiou a última tarefa com um início mais cedo. Porém, esse benefício deve ser comparado com uma situação em que as duas equipes se unam e proporcionem uma entrega mais rápida em todos os setores. Não é raro utilizar essa estratégia de divisão pois nem sempre uma equipe grande conseguirá trabalhar em conjunto, causado, por exemplo, pela determinação de um local muito pequeno na ELP.

Gráfico G: mostra duas tarefas contínuas e entre elas uma série de tarefas não repetitivas. Essa situação ocorreu em especial no estudo de caso piloto. O que foi observado é que a sequência crítica ainda é o destaque em vermelho, porém a última tarefa adquire uma restrição causada por uma das tarefas não repetitivas intermediárias. A identificação dessa restrição no algoritmo de cálculo do LBMS evidencia um problema a ser solucionado caso seja necessário comprimir o cronograma. A antecipação dessa tarefa não repetitiva pode fazer com que a última tarefa tenha um início mais cedo. Entretanto, o total que essa tarefa não repetitiva é antecipada não transfere proporcionalmente para a última, pois essa última tarefa vai acabar sendo restringida por uma tarefa diferente em outro local.

Gráfico H: mostra duas tarefas sendo que a primeira delas possui ritmos diferentes em cada local. Essa situação faz com que haja três pontos de transferência de criticalidade. A sequência crítica fica no primeiro ponto de contato pois ela ocorre primeiro e é a que define a data de início da segunda tarefa pelo algoritmo do LBMS. Esse alerta em amarelo deve ser dado nos outros dois pontos de contato, pois se atrasarem pode promover uma descontinuidade na última tarefa.

Gráfico I: mostra duas tarefas contínuas que não possuem vínculos entre si e, em um determinado momento, elas são executadas no mesmo local ao mesmo tempo. Essa informação torna-se mais transparente nas linhas de fluxo do PBL quando comparado ao gráfico de barras do PBA. Essa interferência não causou impacto na criticalidade. Entretanto, um ponto de alerta é justificado para dar destaque em um possível impacto. O planejador deve se questionar se realmente elas não são afetadas entre si e se há espaço de trabalho suficiente para comportar ambas as equipes. Deve-se verificar ainda se há a possibilidade da tarefa não crítica ser executada em uma sequência de locais diferente para evitar o risco de impacto. Mesmo a

tarefa não seguindo a sequência de locais do 1 para o 7 ainda assim a continuidade pode ser mantida e as desmobilizações evitadas.

Gráfico J: mostra três tarefas que possuem folga entre si. Essa situação não foi encontrada nos casos estudados como esperado em um ambiente de não repetitividade. Provavelmente causado pela compressão dos cronogramas que fazem surgir uma sequência sem folgas. Com base nos casos estudados, a sequência crítica sempre vai do início ao fim do projeto. Não foi possível comprovar alguma situação em que a sequência crítica inicie no meio dele. Obras com esse excesso de folga, como no gráfico J, estão carregados de perdas do ponto de vista da construção enxuta e devem ser combatidos.

5 CONCLUSÕES

Este capítulo é dedicado às conclusões e contribuições da pesquisa. As questões e objetivos são retomados com as respectivas respostas com base nas evidências encontradas nos estudos de caso. Algumas limitações encontradas na pesquisa bem como recomendações para pesquisas futuras também são apresentadas.

5.1 Respostas para as questões de pesquisa

Essa dissertação procurou responder a seguinte questão de pesquisa: **Como identificar a criticalidade de cronogramas produzidos por meio do PBL em um contexto de obras com locais e atividades não repetitivas?** O método utilizado para busca da resposta foi o estudo de caso o qual investigou três obras que originalmente foram planejadas por meio do PBA. As obras investigadas foram: um setor caracterizado como “periferia” de um edifício comercial, um galpão pré-moldado com várias edificações anexas e uma obra de infraestrutura com peças estruturais de tamanhos altamente variados. Os estudos de caso consistiram em investigar com profundidade os projetos e premissas das obras e converter o cronograma original em PBA para o formato de visualização do PBL. Na sequência foi elaborado um cronograma por meio do PBL tendo em vista as boas práticas da ferramenta e da construção enxuta, como a priorização para o fluxo contínuo das tarefas. Esse cronograma em PBL pôde ser submetido à busca por suas respectivas criticalidades. Além disso, os cronogramas PBA e PBL são puderam ser comparados para as demais questões e objetivos secundários.

O estudo sobre a criticalidade em cronogramas PBL é escasso na literatura. O próprio conceito de criticalidade ainda não representa consenso entre pesquisadores. Essa dissertação trouxe alguns resultados que contribuem para o aprimoramento do assunto. A **identificação** da criticalidade no PBL comprovou as proposições de Buchmann-Slorup (2012):

- (i) A tarefa é crítica se ela pertencer à sequência mais longa de tarefas (maior duração total) e sem folgas;
- (ii) A tarefa é crítica se for alocada em um local que impõe atraso em alguma das tarefas que pertençam à sequência de maior duração total, com folga igual a zero;
- (iii) A tarefa é crítica se causar descontinuidade a alguma das tarefas que pertençam ao caminho mais longo com folga igual a zero;
- (iv) A tarefa mais crítica é aquela que possui a menor taxa de produção e pertença ao caminho mais longo com folga igual a zero.

Ainda com base nos estudos de caso apresentados, foi possível incrementar essas proposições sobre criticalidade com as particularidade e recomendações para o contexto da não repetitividade.

- (ii) Uma tarefa torna-se crítica se for iniciada na data mais tarde possível em qualquer local que antecede o ponto que recebe a criticalidade de sua predecessora;
- (iii) Existe sempre uma sequência de tarefas crítica e sem folgas do início ao final do projeto. Entretanto, se alguma tarefa não repetitiva promover uma restrição para o início de alguma das tarefas desta sequência crítica, essa tarefa passará a fazer parte da criticalidade do cronograma;
- (iv) A criticalidade pode ser transmitida de uma tarefa crítica para sua sucessora em mais de um local. O ponto mais crítico será no local onde essa transmissão ocorre primeiro;
- (v) Podem existir mais de uma tarefa da sequência crítica sendo executada ao mesmo tempo;
- (vi) Quando uma tarefa da sequência crítica transfere a criticalidade para a sucessora, significa que ela possui folga quando avançar para o próximo local.

A pesquisa também teve como objetivo investigar se a adoção do PBL em obras com atividades e locais não repetitivos é capaz de promover melhorias do ponto de vista da construção enxuta quando comparada ao PBA, tais como: fluxo contínuo de equipes, redução de *buffers* e redução de interferências causadas por tarefas executadas em um mesmo local ao mesmo tempo. Os resultados destes três estudos de caso confirmaram algumas dessas capacidades. Os cronogramas do PBL proporcionaram fluxo contínuo de equipes nos três estudos. Os *buffers* foram reduzidos no PBL em 29% e 50% nos casos piloto e caso 1; já no estudo de caso 3 não houve redução do uso de *buffers*. Quanto às interferências de tarefas executadas no mesmo local ao mesmo tempo, os estudos de caso 1 e 2 tiveram 100% de eliminação dessas interferências pela aplicação das boas práticas do PBL. O estudo de caso piloto alcançou 65% de redução.

Entre os benefícios do uso do PBL sobre o PBA destacam-se:

- (i) Promoção do fluxo de trabalho para as equipes em tarefas que ocorrem em mais de um local;
- (ii) Identificação das interferências de mais de uma atividade ocorrerem em um mesmo local ao mesmo tempo;

- (iii) Otimização da sequência de trabalho: o avanço para o setor adjacente onde a atividade é executada nem sempre é a melhor opção para o projeto como um todo;
- (iv) O plano mestre do PBL é apresentado em um diagrama simples ao invés de utilizar várias folhas como no PBA;
- (v) Aplicação de filtros para atividades individuais, o que facilita migrar o plano mestre para o médio e curto prazo, auxiliando na disseminação de informações;
- (vi) PBL expõe o uso de *buffers* e coíbe o uso deliberado deles.

Dentre as principais barreiras encontradas, estão as seguintes:

- (i) A definição da ELP com locais muito grandes pode permitir que equipes trabalhem no mesmo local ao mesmo tempo, porém requer uma análise particular para cada situação;
- (ii) A ausência de banco de dados formal com a produtividade esperada das equipes faz com que seja necessário utilizar dados e tabelas genéricas, ou externas ao ambiente da construtora.

5.2 Limitações do desenvolvimento da pesquisa

A pesquisa se baseou no plano mestre inicial de construção e dependeu essencialmente de um gama grande informações documentais. Foram apresentados dados de obras reais já concluídas, entre os dados estão as definições de ELP, quantidades de trabalho em cada local, composição do escopo das tarefas e o sequenciamento de tarefas. Entretanto, a ausência de taxas de produção tabeladas pela construtora para as tarefas constituiu um grande desafio para o desenvolvimento desta pesquisa. Essa dificuldade foi suprimida com a adoção de dados tabelados de produção externos ao projeto.

Existem poucos *softwares* comerciais que utilizam o algoritmo de cálculo do PBL. O *Schedule Planner* utilizado nesta pesquisa foi importante para a obtenção dos resultados. Devido ao assunto da criticalidade no PBL ainda precisar ser mais bem conceituado e estabelecido na literatura, a sequência de tarefas crítica não é completamente automatizada pelo *software*. Houve necessidade de alguns ajustes manuais nos gráficos como os destaques dados nas sequências críticas. Além disso, para rodar o programa foi utilizado um computador com processador Intel i5 da 8ª geração e uma memória RAM de 8Gb. Para o estudo de caso 1 e piloto, essa configuração foi bem adequada. Já no estudo de caso 3, com milhares de tarefas interligadas, a capacidade de processamento foi um pouco prejudicada.

5.3 Sugestões para estudos futuros

Essa pesquisa demonstrou os resultados do ponto de vista de três obras. A própria estratégia metodológica do estudo de caso não habilita extrapolar esses resultados para o planejamento de todas as obras de engenharia. Um próximo passo no avanço do desenvolvimento da criticalidade no PBL seria estudar uma quantidade mais significativa de amostras, trazendo assim a confirmação destes resultados ou a obtenção de outros não identificados nesta pesquisa. Outra recomendação é a criação de um procedimento que identificasse o grau de criticalidade de cada sequência de tarefas no PBL. A formação desse *ranking* de tarefas quanto à criticalidade já foi bastante estudada no PBA, e há uma oportunidade de avanço acadêmico nessa área também no PBL.

Aspectos financeiros podem ser incorporados nas análises da criticalidade do cronograma. Há uma possibilidade que obras com um fluxo de caixa restrito possam se beneficiar se a criticalidade for conhecida, pois poderia aplicar recursos financeiros em tarefas críticas em detrimento das que possuam folga. Este pode ser um campo de aprimoramento em estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- ABDELHAMID, T. S. The Self-Destruction and Renewal of Lean Construction Theory: A Prediction From Boyd's Theory. **Anais...** In: 12TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Helsingør, Denmark: 2004.
- ABNT ISO, 21500. **Orientações sobre gerenciamento de projeto**. p. 51. 2012.
- ACKOFF, R. L. **A Concept of Corporate Planning**. John Wiley & Sons Inc., 1970.
- ADAMIECKI, K. Harmonizacja jako jedna z glownych podstaw organizacji naukowej (Harmonization as One of the Main Principles of Scientific Organization). **Przegląd Techniczny**, p. 4, 1924.
- ALENCAR, G. C. DE M.; CÂNDIDO, L. F. Análise do Planejamento e Controle da Produção em uma microempresa construtora. **Anais...** In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Ponta Grossa: 2017.
- ALVES, T. DA C. L.; TOMMELEIN, I. D. Simulation of Buffering and Batching Practices in the Interface Detailing-Fabrication-Installation of HVAC Ductwork. **Anais...** In: 12TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Helsingør, Denmark: 2004.
- AMMAR, M. A.; ABD-ELKHALEK, S. I. Criticality measurement in fuzzy project scheduling. **International Journal of Construction Management**, p. 1–10, 2019.
- ANDERSSON, N.; CHRISTENSEN, K. Practical implications of location-based scheduling. **Anais...** CME 2007 Conference - Construction Management and Economics: "Past, Present and Future" 2007.
- ARDITI, D.; ALBULAK, M. Z. Line-of-Balance Scheduling in Pavement Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 112, n. 3, p. 411–424, 1986.
- ARDITI, D.; SIKANGWAN, P.; TOKDEMIR, O. B. Scheduling system for high rise building construction. **Construction Management and Economics**, v. 20, n. 4, p. 353–364, 2002.
- ARDITI, D.; TOKDEMIR, O. B.; SUH, K. Scheduling system for repetitive unit construction using line-of-balance technology. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 8, n. 2, p. 16, 2001a.
- ARDITI, D.; TOKDEMIR, O. B.; SUH, K. Effect of learning on line-of-balance scheduling. **International Journal of Project Management**, p. 13, 2001b.
- ARDITI, D.; TOKDEMIR, O. B.; SUH, K. Challenges in Line-of-Balance Scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 128, n. 6, p. 545–556, 2002.
- ASSUMPÇÃO, J. F. P.; LIMA JR., J. DA R. **Gerenciamento de empreendimentos na construção civil : modelo para planejamento estratégico da produção de edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/173, São Paulo : EPUSP, 37p, 1996.

BALDWIN, A.; BORDOLI, D. **Handbook for Construction Planning and Scheduling**. UK: Wiley Blackwell, 2015.

BALLARD, G. Lookahead Planning: The Missing Link in Production Control. **Anais...** In: 5TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Gold Coast, Australia: 1997.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Toward construction JIT. Lean Construction. **Anais...** In: ANNUAL CONFERENCE; 11TH, ASSOCIATION OF RESEARCHERS IN CONSTRUCTION MANAGEMENT. Sheffield: 1995.

BALLARD, G.; HOWELL, G. A. An Update on Last Planner. **Anais...** In: 11TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Virginia, USA: 2003.

BALLARD, H. G. **The Last Planner System of Production Control**. Birmingham: School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birmingham, 2000.

BARRAZA, G. A.; BUENO, R. A. Cost Contingency Management. **Journal of Management in Engineering**, v. 23, n. 3, p. 140–146, 2007.

BERNARDES, M. M. E S. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção**. Tese de Doutorado, Porto Alegre: UFRGS, 2001.

BERTELSEN, S.; KOSKELA, L. Approaches to Managing Complexity in Project Production. **Anais...** In: 13TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Sydney, Australia: 2005.

BERTELSEN, S.; KOSKELA, L. URI. Construction Beyond Lean: A New Understanding of Construction Management. **Anais...** In: 12TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Helsingør, Denmark: 2004.

BIOTTO, C. et al. Comparing Production Design Activities and Location-Based Planning Tools. **Anais...** 25TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, Heraklion, Greece: 2017.

BØLVIKEN, T.; ASLESEN, S.; KOSKELA, L. What is a good plan? **Anais...** 23RD ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION Australia, 2015.

BRASIL. **Consolidação das leis do trabalho – CLT e normas correlatas**. Brasília : Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas. p. 189. 2017.

BÜCHMANN-SLORUP, R. Applying critical chain buffer management theory in location-based management. **Construction Management and Economics**, v. 32, n. 6, p. 506–519, 2014.

BÜCHMANN-SLORUP, R.; ANDERSSON, N.; FUHR PEDERSEN, L. **Criticality in Location-Based Management of Construction**. Tese de Doutorado - Department of Management Engineering, Technical University of Denmark, Dinamarca, 2012.

BULHÕES, I. R. **Diretrizes para implementação de fluxo contínuo na construção civil: uma abordagem baseada na Mentalidade Enxuta**. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas 2009.

BULHÕES, I. R.; FORMOSO, C. T.; AVELLAN, T. V. Gestão dos fluxos físicos e sua integração com o planejamento e controle da produção: caso de uma empresa de Salvador-BA. **Anais...** In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO. São Carlos, SP: 2003.

CAIXA, C. E. F. **SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil - Metodologias e Conceitos**. 8. ed. Brasília DF: 2020.

CÂNDIDO, L. F.; CARNEIRO, J. Q.; HEINECK, L. F. M. Uma visão Lean da técnica de gerenciamento do valor agregado aplicado a construção. **Anais...** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2014.

CHANAS, S.; ZIELIŃSKI, P. Criticality in the Network with Imprecise Activity Times. In: BOUCHON-MEUNIER, B. et al. Technologies for Constructing Intelligent Systems. **Studies in Fuzziness and Soft Computing**. v. 89p. 71–84 Heidelberg: Physica-Verlag HD, 2002.

CHEN, C.-T.; HUANG, S.-F. Applying fuzzy method for measuring criticality in project network. **Information Sciences**, v. 177, n. 12, p. 2448–2458, 2007.

CLARK, C. E. Letter to the Editor—The PERT Model for the Distribution of an Activity Time. **Operations Research**, v. 10, n. 3, p. 405–406, 1962.

CLARK, W. **The Gantt chart a working tool of management**. New York: The Ronald Press Company, 1923.

CODAS, M. M. B. Gerencia de projetos - Uma reflexão historica. **Revista Administração de Empresas**. Rio de Janeiro, 1987a.

CODAS, M. M. B. Development of project management in Brazil - a historical overview. **International Journal of Project Management**, v. 5, n. 3, p. 144–148, ago. 1987b.

COELHO, H. O. **Diretrizes e requisitos para o planejamento e controle da produção em nível de médio prazo na construção civil**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

COOKE, B.; WILLIAMS, P. **Construction Planning, Programming and Control**. 3. ed. [s.l.] Wiley-Blackwell, 2009.

COX, J. F.; SCHLEIER, J. G. **Theory of Constraints Handbook**. New York: McGraw-Hill, 2010.

DAWSON, C. W.; DAWSON, R. J. Generalised activity-on-the-node networks for managing uncertainty in projects. **International Journal of Project Management**, v. 13, n. 6, p. 353–362. 1995.

DEBICKI, B. J. Forgotten contributions to scientific management: work and ideas of Karol Adamiecki. **Journal of Management History**, v. 21, n. 1, p. 40–67, 2015.

DEMING, W. E. **Out of the crisis: quality, productivity and competitive position**. [s.l.] Cambridge University Press, 1986.

DESCHAMPS, R. R. et al. The Impact of Variability in Workflow. **Anais...** In: 23RD ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Perth, Australia, 2015

EASA, S. M. Resource Leveling in Construction by Optimization. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 115, n. 2, p. 302–316, 1989.

EL-SAYEGH, S. Resource levelling optimization model considering float loss impact. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 25, n. 5, p. 639–653, 2018.

EVINGER, J.; MOUFLARD, C.; SEPPÄNEN, O. Productivity effects of starting as early as possible in hospital construction. **Anais...** 21ST ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, Fortaleza, 2013.

FAYOL, H. **Administração Industrial e Geral**. 1. ed. Lisboa: EDIÇÕES SÍLABO, 2018.

FELLOWS, R.; LIU, A. **Research methods for construction**. 3rd ed ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2008.

FERREIRA, A. B. DE H. **Dicionário Aurélio**. 5. ed., 2014.

FILIPPI, G. A. D.; MELHADO, S. B. Um estudo sobre as causas de atrasos de obras de empreendimentos imobiliários na região Metropolitana de São Paulo. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 3, p. 161–173, 2015.

FLYVBJERG, B. Five Misunderstandings About Case-Study Research. **Qualitative Inquiry**, v. 12, n. 2, p. 219–245, 2006.

FORMOSO, C. et al. **Termo de Referência para o Processo de Planejamento e Controle da Produção em Empresas Construtoras**. 1. ed. Porto Alegre: NORIE/UFRGS, 1999.

FORMOSO, C. T. **A knowledge based framework for planning house building projects**. Tese de Doutorado - Salford. Reino Unido, 1991.

FREEMAN, C.; SEPPÄNEN, O. Social Aspects Related to LBMS Implementation – A Case Study. **Anais...** In: 22ND ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Oslo, Norway, 2014.

FREITAS, W. R. S. Utilizando estudo de caso(s) como estratégia de pesquisa qualitativa: boas práticas e sugetões. **ESTUDO & DEBATE**, Lajeado, v. 18, n. 2, p. 16, 2011.

FRIEDMANN, J. **Planning in the public domain: From Knowledge to Action**. 1. ed. NEW JERSEY USA: Princeton University Press, 1987.

GALLOWAY, P. D. Survey of the Construction Industry Relative to the Use of CPM Scheduling for Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, n. 132, 2006.

GANTT, H. **Organizing for Work**. New York, NY: HARCOURT, BRACE AND HOWE, 1919.

GERMANO, A. V. C. **Método de prevenção de perdas do tipo making-do, retrabalho e falta de terminalidade em canteiros de obras**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2018.

GHODDOUSI, P. et al. Multi-mode resource-constrained discrete time–cost-resource optimization in project scheduling using non-dominated sorting genetic algorithm. **Automation in Construction**, v. 30, p. 216–227, 2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2009.

GILMOUR, D. et al. **Time**: Interpret: Pink Floyd; Dark side of the moon. Britain: EMI, 1973.

GOLDRATT, E. M. **Critical Chain**. 1. ed. USA: North River Press, 1997.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A Meta - Um processo de melhoria Continua**. 2. ed. [s.l.] Nobel, 2014.

GONZALEZ, V.; ALARCON, L. F. A Methodology for Integrated Buffer Design and Management in Repetitive Construction Projects. **Anais...** In: 17TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Taipei, Taiwan, 2009.

GORDON, J.; TULIP, A. Resource Scheduling. **Internattonal Journal of Project Management**, v. 15, n. 6, p. 359–370, 1997.

GOUDA, A.; HOSNY, O.; NASSAR, K. Optimal crew routing for linear repetitive projects using graph theory. **Automation in Construction**, v. 81, p. 411–421, 2017.

GROSS, E.; SIEGERT, J.; BAUERNHANS, T. Changing Requirements of Competence Building Due to an Increase of Personalized Products. **Anais...** 7TH CONFERENCE ON LEARNING FACTORIES - CLF 2017, v. 9, p. 291–298, 2017.

GUPTA, A.; GONZALEZ, V.; MILLER, G. Understanding the Relationship Between Productivity and Buffers in Construction: A Simulation-Based Case. **Anais...** In: 20TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. San Diego, USA, 2012.

HAJDU, M.; BOKOR, O. The Effects of Different Activity Distributions on Project Duration in PERT Networks. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 119, p. 766–775, 2014.

HARRIS, R. B.; IOANNOU, P. G. Scheduling Projects with Repeating Activities. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 4, p. 269–278, 1998.

HEBB, D. O. **The Organization of Behavior - a Neuropsychological Theory**. [s.l.] Chapman & Hall, Limited, 1949.

HEGAZY, T. Optimization of Resource Allocation and Leveling Using Genetic Algorithms. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 125, n. 3, p. 167–175, 1999.

HENRICH, G.; TILLEY, P.; KOSKELA, L. Context of Production Control in Construction. **Anais...** In: 13TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Sydney, Australia, 2005.

HOPP, M. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory Physics**. 3. ed. Boston, USA: McGraw-Hill International Editions, 2008.

HOWELL, G. A.; KOSKELA, L. Reforming Project Management: The Role of Lean Construction. **Anais...** In: 8TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Brighton, UK, 2000.

IOANNOU, P. G.; YANG, I.-T. Repetitive Scheduling Method: Requirements, Modeling, and Implementation. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 5, 2016.

JACOBSSON, M.; WILSON, T. L. Revisiting the construction of the Empire State Building: Have we forgotten something? **Business Horizons**, v. 61, n. 1, p. 47–57, 2018.

JÓZEFOWSKA, J.; WEGLARZ, J. **Perspectives in modern project scheduling**. New York, NY: Springer, 2006.

KALA, T.; MOUFLARD, C.; SEPPÄNEN, O. Production Control Using Location-Based Management System on a Hospital Construction Project. **Anais...** In: 20TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. San Diego, USA, 2012.

KANKAINEN, J.; SEPPÄNEN, O. A Line-of-Balance Based Schedule Planning and Control System. **Anais...** In: 11TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Virginia, USA, 2003.

KARAA, F. A.; NASR, A. Y. Resource Management in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 112, n. 3, p. 346–357, set. 1986.

KAZEMI, A.; TALEBI, A.; JAVAD, OROOJENI MOHAMMAD, M. Analysis of critical paths in a project network with random fuzzy activity times. **Amirkabir International Journal of Modeling, Identification, Simulation & Control**, n. Online First, 2016.

KELLEY, J. E.; WALKER, M. R. Critical-path planning and scheduling. **Anais...** In: EASTERN JOINT IRE-AIEE-ACM COMPUTER CONFERENCE. Boston, Massachusetts: ACM Press, 1959.

KENLEY, R. Project Micro-Management: Practical Site Planning and Management of Work Flow. **Anais...** In: 12TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Helsingør, Denmark, 2004.

KENLEY, R. Dispelling the Complexity Myth: Founding Lean Construction on Location-Based Planning. **Anais...** In: 13TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Sydney, Australia, 2005.

KENLEY, R.; HARFIELD, T. Removing hidden waiting time in critical path schedules: A location-based approach to avoiding waste. **Anais...** 23RD ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Australia, 2015.

KENLEY, R.; SEPPÄNEN, O. Location-based management of construction projects: Part of a new typology for project scheduling methodologies. Winter Simulation Conference. **Anais...** Winter Simulation Conference, Austin, TX, USA, 2009.

KENLEY, R.; SEPPANEN, O. **Location-based management for construction: Planning, scheduling and control**. 1. ed. Abingdon: Spon Press, 2010.

KERZNER, H. **Project Management Best Practices - Achieving Global Excellence**. 3. ed. [s.l.] John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2014.

KERZNER, H.; SALADIS, F. P. **O que os executivos precisam saber sobre gerenciamento de projetos**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

KIM, Y.-W.; BALLARD, G. Management Thinking in the Earned Value Method System and the Last Planner System. **Journal of Management in Engineering**, v. 26, n. 4, p. 223–228, 2010.

KOONTZ, H.; O'DONNELL, C. **Principles of management - na analysis of managerial functions**. 2. ed. New York USA: McGraw-Hill Book Company, 1959.

KOSKELA, L. **Application of the New production Philosophy to Construction**. EUA: Stanford University, 1992.

KOSKELA, L. Making-Do — the Eighth Category of Waste. **Anais...** In: 12TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Helsingør, Denmark, 2004.

KOSKELA, L.; BØLVIKEN, T.; ROOKE, J. Which Are the Wastes of Construction?. **Anais...** In: 21TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Fortaleza, Brazil, 2013.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management and Economics**, v. 5, n. 3, p. 243–266, 1987.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Competence and timing dilemma in construction planning. **Construction Management and Economics**, n. 6, p. 339–355, 1988.

LCI, L. C. I. **LCI Lean Project Delivery Glossary**, 2017. Disponível em: <www.leanconstruction.org>. Acesso em: 30 out. 2018.

LEÃO, C. F. **Proposta de Modelo para controle integrado da produção e da qualidade utilizando tecnologia da informação**. Dissertação de Mestrado - Porto Alegre: UFRGS, 2014.

LEE, D. et al. Advanced planning model of formwork layout for productivity improvement in high-rise building construction. **Automation in Construction**, v. 85, p. 232–240, jan. 2018.

LIMA, J. P. C. et al. Estudos de caso e sua aplicação: Proposta de um esquema teórico para pesquisas no campo da contabilidade. **Revista de Contabilidade e Organizações**, v. 6, n. 14, 2012.

LINNIK, M.; BERGHEDE, K.; BALLARD, G. An Experiment in Takt Time Planning Applied to Non-Repetitive Work. **Anais...** In: 21TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Fortaleza, Brazil, 2013.

LOCK, D. **Project management in construction**. Aldershot: Gower, 2004.

LORTERAPONG, P.; MOSELHI, O. Project-Network Analysis Using Fuzzy Sets Theory. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 122, n. 4, p. 308–318, 1996.

LUCKO, G.; ALVES, T. D. C. L.; ANGELIM, V. L. Challenges and opportunities for productivity improvement studies in linear, repetitive, and location-based scheduling. **Construction Management and Economics**, v. 32, n. 6, p. 575–594, 2014.

LUCKO, G.; THOMPSON, R. C.; SU, Y. Simulating the Balanced Allocation of Project Float to the Critical Path in Network Schedules. **Anais...** In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS 2016. San Juan, Puerto Rico: American Society of Civil Engineers, 2016.

LUMSDEN, P. **The line-of-balance method**. 1. ed. London: Pergamon Press Limited, 1968.

M. SAID, H. M.; LUCKO, G. Float Types in Construction Spatial Scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 12, p. 04016077, 2016.

MALCOLM, D. G. et al. Application of a technique for research and development program evaluation. **Operations Research**, v. 7, p. 646–669, 1959.

MALYUSZ, L. Learning Curve Effect on Project Scheduling. **Procedia Engineering**, v. 164, p. 90–97, 2016.

MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2010.

MAURER, M. **Complexity Management in Engineering Design – a Primer**. Springer, Berlin Heidelberg, 2017.

MCFARLAND, D. E. **Management Principles and Practices**. 4. ed. New York USA: Macmillan - Original de Universidade de Wisconsin, 1974.

MENDEZ, JR., Ricardo; HEINECK, L. F. M. Preplanning Method for Multi-Story Building Construction Using Line of Balance. **Anais...** In: 6TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Guarujá, Brazil, 1998.

MERCIER, A. G.; NUNALLY, R. S. **The critical path method: its fundamentals**. Dissertação. Master of Science in Naval Management, United States Naval Postgraduate School Monterey, California, 1965.

MODER, ..JOSEPH JOHN; PHILLIPS, C. R.; DAVIS, E. W. **Project management with CPM, PERT and precedence diagramming**. 3. ed ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1983.

MONTGOMERY, D. C.; MYERS, R. H. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

MUBARAK, S. A. **Construction project scheduling and control**. Third edition ed. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2015.

MUIANGA, E. A. D.; GRANJA, A. D.; RUIZ, J. DE A. Desvios de custos e prazos em empreendimentos da construção civil: categorização e fatores de influência. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 1, p. 79–97, 2015.

MULCAHY, R. **Preparatório para o Exame de PMP**. 8. ed. EUA: RCA Publications INC, 2013.

MURGUIA, D.; URBINA, A. Complex Production Systems: Non-Linear and Non-Repetitive Projects. **Anais...** In: 26TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Chennai, India, 2018.

O'BRIEN, J. J.; PLOTNICK, F. L. **CPM in Construction Management**. 8. ed. [s.l.] McGraw-Hill Education, 2015.

OHNO, T. **Toyota Production System: Beyond large-scale production**. Cambridge, Massachusetts: Productivity Press, 1988.

OLIVERI, H. **Integração de sistemas de planejamento e controle da produção para empreendimentos da construção civil**. Tese de Doutorado - Campinas: Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2016.

OLIVIERI, H.; GRANJA, A. D.; PICCHI, F. A. Planejamento tradicional, Location-Based Management System e Last Planner System: um modelo integrado. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 265–283, 2016.

OLIVIERI, H.; SEPPÄNEN, O.; GRANJA, A. D. Improving workflow and resource usage in construction schedules through location-based management system (LBMS). **Construction Management and Economics**, v. 36, n. 2, p. 109–124, 2018.

PARK, J.; CAI, H. WBS-based dynamic multi-dimensional BIM database for total construction as-built documentation. **Automation in Construction**, v. 77, p. 15–23, 2017.

PARKINSON, C. N. **Parkinson's Law**. n. The Economist Group Limited, 1955.

PARKINSON, C. N. **Parkinson's law - and other studies in administration**. Boston, USA: Houghton Mifflin Company, Riverside Press, 1957.

PARTOUCHE, R.; SACKS, R.; BERTELSEN, S. Craft Construction, Mass Construction, Lean Construction: Lessons From the Empire State Building. **Anais...** In: 16TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Manchester, UK, 2008.

PINHEIRO, M. B. **Considerações Gráficas sobre a Ligação entre a Linha de Balanço e o Sistema Toyota de Produção**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Ceará, Orientador: Prof. Luiz Fernando Mählmann Heineck, PhD, Fortaleza, 2009.

PLAYFAIR, W. **The Commercial and Political Atlas**. London: 1801.

PMI, Project Management Institute. **A guide to the project management body of knowledge: PMBOK guide**. 3. ed ed. Newtown Square, Pa: PMI, 2004.

PMI, Project Management Institute. **Practice standard for scheduling**. 2nd ed. Newtown Square, Pa: Project Management Institute, 2011.

PMI, Project Management Institute. **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK)**. 6. ed. Newton Square, PA, EUA, 2018.

POLAT, G.; BUYUKSARACOGU, Y.; DAMCI, A. Scheduling asphalt highway construction operations using the combination of line-of-balance and discrete event simulation techniques. **Anais...** IEEM 2009 - IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT. Hong Kong, 2009.

POSHDAR, M.; GONZÁLEZ, V. A.; BELAYUTHAM, S. An Inclusive Probabilistic Buffer Allocation Method. **Anais...** In: 23RD ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Perth, Australia, 2015.

PRIESTLEY, J. **A description of a Chart of biography**. 1. ed. [s.l.] Printed at WARRINGTON, 1764.

RECK, R. H. et al. Diretrizes para a definição de lotes de montagem de sistemas pré-fabricados de concreto do tipo engineer-to-order. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 1, p. 105–127, 2020.

REZAEI, A. Location Based Scheduling In The Form Of Flow Line and Its Comparison to Cpm/Bar Chart Scheduling. **International Journal of Eletrronics**, p. 13, 2015.

RIOS, F. C. et al. Stabilizing Craft Labor Workflow With Instantaneous Progress Reporting. **Anais...** In: 23RD ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Perth, Australia, 2015.

RUSSELL, A. D.; UDAIPURWALA, A.; WONG, W. A Generalized Paradigm for Planning and Scheduling. **Anais...** In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS 2003. Honolulu, Hawaii, United States: American Society of Civil Engineers, 2003.

RUSSELL, A. D.; WONG, W. C. M. New Generation of Planning Structures. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 119, n. 2, p. 196–214, jun. 1993.

RUSSELL, M. M. et al. Causes of Time Buffer in Construction Project Task Durations. **Anais...** In: 20TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. San Diego, USA: 2012.

RUSSELL, M. M. et al. Causes of Time Buffer and Duration Variation in Construction Project Tasks: Comparison of Perception to Reality. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 6, 2014.

SACKS, R.; HAREL, M. An economic game theory model of subcontractor resource allocation behaviour. **Construction Management and Economics**, v. 24, n. 8, p. 869–881, 2006.

SAKAMOTO, M.; HORMAN, M. J.; THOMAS, H. R. A Study of the Relationship Between Buffers and Performance in Construction. **Anais...** In: 10TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Gramado, Brazil, 2002.

SAN CRISTOBAL, J. R. Critical Path Definition Using Multicriteria Decision Making: Promethee Method. **Journal of Management in Engineering**, v. 29, n. 2, p. 158–163, 2013.

SANYAL, B. A Planners' Planner: John Friedmann's Quest for a General Theory of Planning. **Journal of the American Planning Association**, v. 84, n. 2, p. 179–191, 2018.

SAUER, N. **Integração da Gestão de Custos ao Planejamento e Controle da Produção baseado em Localização na Construção com apoio de BIM**. Dissertação de Mestrado - UFRGS, Porto Alegre, 2019.

SAURIN, T. A. Removing Waste While Preserving Slack: The Lean and Complexity Perspectives. **Anais...25TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION**. Heraklion, Greece, 2017.

SEARS, S. K.; SEARS, G. A.; CLOUGH, R. H. **Construction project management: a practical guide to field construction management**. 5th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2008.

SENOUCI, A. B.; ELDIN, N. N. Use of Genetic Algorithms in Resource Scheduling of Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 130, n. 6, p. 869–877, 2004.

SEPPÄNEN, O. **Empirical research on the success of production control in building construction projects**. Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology—Helsinki: Helsinki University of Technology, 2009.

SEPPÄNEN, O. A Comparison of Takt Time and LBMS Planning Methods. **Anais... In: 22ND ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION**. Oslo, Norway, 2014.

SEPPÄNEN, O.; AALTO, E. A Case Study of Line-of-Balance Based Schedule Planning and Control System. **Anais... In: 13TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION**. Sydney, Australia, 2005.

SEPPÄNEN, O.; EVINGER, J.; MOUFLARD, C. Comparison of LBMS schedule forecasts to actual progress. **Anais... 21ST ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, IGLC 2013**. Fortaleza, 2013.

SEPPÄNEN, O.; MODRICH, R.-U.; BALLARD, G. Integration of Last Planner System and Location-Based Management System. **Anais... In: 23RD ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION**. Perth, Australia, 2015.

SHANE, J. et al. **Guide to Project Management Strategies for Complex Projects**. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2013.

SHINGO, S. **A study of the Toyota System from an industrial engineering point of view**. 1. ed. [s.l.] American Society for Quality, 1989.

SILVA, B. **Taylor e Fayol - Cadernos de Administração**. Escola Brasileira de Administração Pública, Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, 1960.

SLOBODZIAN, J.; GRANJA, A. D. Planejamento baseado em locais em atividades e locais com características de não repetitividade. **Anais... XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO**

E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO E VIII ENCUESTRO LATINOAMER. GESTIÓN Y ECONOMIA DE LA CONSTRUCCIÓN, XI SIBRAGEC & VIII ELAGEC 2019. Londrina, 2019.

SOINI, M.; LESKELA, I.; SEPPANEN, O. Implementation of Line-of-Balance Based Scheduling and Project Control System in a Large Construction Company. **Anais...** In: 12TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Helsingør, Denmark, 2004.

SPENCE, I. No Humble Pie: The Origins and Usage of a Statistical Chart. **Journal of Educational and Behavioral Statistics**, v. 30, n. 4, p. 353–368, 2005.

SPENCE, I. William Playfair and the Psychology of Graphs. **Anais...** In: JSM, VOLUME: PROCEEDINGS OF THE AMERICAN STATISTICAL ASSOCIATION, SECTION ON STATISTICAL GRAPHICS, 2426-2436. 2006.

SRISUWANRAT, C.; IOANNOU, P. G. The Investigation of Lead-Time Buffering Under Uncertainty Using Simulation and Cost Optimization. **Anais...** In: 15TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. East Lansing, Michigan, USA: 2007.

STAKE, R. **The Art of Case Study Research**. CA: Sage: Thousand Oaks, 1995.

SUBRAMANI, T.; M.KARTHICK, T. Study on Time and Resource Management in Construction Projects Using MS Project. **International Journal of Engineering & Technology**, v. 7, n. 3.10, p. 23, 2018.

SYMANZIK, J.; FISCHETTI, W.; SPENCE, I. Commemorating William Playfair's 250th birthday. **Computational Statistics**, v. 24, n. 4, p. 551–566, 2009.

TARGIEL, K. S.; NOWAK, M.; TRZASKALIK, T. Scheduling non-critical activities using multicriteria approach. **Central European Journal of Operations Research**, v. 26, n. 3, p. 585–598, 2018.

TCPO. **Tabelas de Composição de Preços para Orçamento**. 13. ed. São Paulo: PINI, 2010.

TERRY, G. R. **Principles of Management**. 8. ed. McGraw-Hill Higher Education, 1982.

THOMAS, H. R.; MATHEWS, C. T.; WARD, J. G. Learning Curve Models of Construction Productivity. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 112, n. 2, p. 245–258, 1986.

TOKDEMIR, O. B. et al. Delay Risk Assessment of Repetitive Construction Projects Using Line-of-Balance Scheduling and Monte Carlo Simulation. **Journal of Construction, Engineering and Management**, p. 12, 2019.

TOMMELEIN, I. D. Collaborative Takt Time Planning of Non-Repetitive Work. **Anais...** 25TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Heraklion, Greece: 2017.

TRIMBLE, B. **Introduction to Model Based Scheduling Training Manual**, 2015.

URWICK, L. F. **The Element of Administration**. 1. ed. American University Press, 1954.

VALENTE, C. P. et al. Benefits of Batch Size Reduction: A Case Study in a Residential Project. **Anais...** In: 21TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Fortaleza, Brazil: 2013.

VALENTE, C. P. et al. Guidelines for Developing a Line of Balance for Non-Repetitive Areas (Common Areas) at a Vertical Residential Building. **Anais...** In: 22ND ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Oslo, Norway: 2014.

VARGAS, F. B. DE; FORMOSO, C. T. Método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho com o apoio de BIM. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 1, p. 129–151, 2020.

VARGAS, R. V.; MOREIRA, F. F. Modelling line of balance schedules with star-finish relationships. **Anais...** PMI Global Congress 2015 - EMEA, London, United Kingdom, p. 18, 2015.

WARD, STEVEN. A.; MCELWEE, W. Application of the Principle of Batch Size Reduction in Construction. **Anais...** In: 15TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. East Lansing, Michigan, USA, 2007.

WEAVER, P. A Brief History of Scheduling. **Anais...** MY PRIMAVERA CONFERENCE, p. 24, 2006.

WEAVER, P. Origins of Modern Project Management. **Anais...** FOURTH ANNUAL PMI COLLEGE OF SCHEDULING CONFERENCE, Marriott Pinnacle Downtown, Vancouver., p. 27, 2007a.

WEAVER, P. A simple view of "complexity" in project management. **Anais...** In: WPM WEEK SINGAPOUR. Singapur: Mosaic Project Services Pty Ltd, 2007b.

WEAVER, P. Henry Gantt - Debunking the myths, a retrospective view of his work. **PM World Journal**. p. 19, 2012.

WEAVER, P. The Origins of Bar Charting. **PM World Journal**. Volume III, Issue 4 April 2014, p. 9, 2014.

WUEST, J. **The scheduling of large projects with limited resources**. Tese de Doutorado - Pennsylvania USA: Graduate School of Industrial Administration - Carnegie Institute of Technology, 1962.

WILLIS, C.; FRIEDMAN, D. **Building the Empire State**. New York: W.W. Norton & Company, 1998.

WRIGHT, T. P. Factors Affecting the Cost of Airplanes. **Journal of the Aeronautical Sciences**, v. 3, n. 4, p. 122–128, fev. 1936.

XAVIER, C. M. DA S.; XAVIER, L. F. DA S.; MELO, M. **Gerenciamento de Projetos na Construção Civil - Uma Adaptação da Metodologia basic Methodware**. 1. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2014.

YANG, I.-T. Stochastic Analysis on Project Duration Under the Requirement of Continuous Resource Utilization. **Anais...** In: 10TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Gramado, Brazil, 2002.

YASSINE, T. et al. Implementing takt-time planning in construction to improve work flow. **Anais...** 22ND ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Norway, 2014.

YIN, R. K. **Estudo de caso**. Porto Alegre: Bookman, 2003.

ZAHARAN, K.; NOUR, M.; HOSNY, O. The Effect of Learning on Line of Balance Scheduling: Obstacles and Potentials. **International Journal of Engineering Science and Computing**, v. 6, p. 11, 2016a.

ZAHARAN, K.; NOUR, M.; HOSNY, O. Cost Optimization using Learning Curves and Line of Balance Scheduling. **International Journal of Engineering Inventions**, v. 5, p. 21, 2016b.

APÊNDICE A

Tabela de registro das durações do planejamento original (PBA) do caso piloto.

Durações das Atividades nos Locais	Estrutura	Alvenaria	Hidraulica	Incêndio	Louças	Elétrica	Luminária	Exaustão	Contramarco	Esq. Alumínio	Reboco	Contrapiso	Forro	Cerâmica	Ladrilho	Granito	Esq. Madeira	Divisória	Pintura	Limpeza	Medição	Gerador	Transformador	Esq. de Ferro	Artefato Metálico	Aterro	Drywall 1	Drywall 2	Impermeabilização	Gesso Liso	Carpete	Textura	Paisagismo
2SSADM		5	5		2	5	2				2	3	3	3		3	2		4	7													
2SSVEST		5	5		2	5	2	2	2	2	3	3	3	3				4	3	7													
2SSHALL						10	2				5	3	3	4		4	2		5	7													
2SSDML		5	5			5	3		2	2									4	7													
2SSOFIC		5	15			5	2	2	2	2									5	7													
2SSBOMB			10																														
2SSESTA	5	5		20		10	29					5			7				15	9													
1SSREFE		5	3		1	3	2	2	1	2	3	3	5	4		1		3	3	14													
1SSLIXO		5	3			2	1		1	2	3	3		12						14													
1SSTELE		2	5		1	3	4		1	2	10	3	4	5					6	14													
1SSESCD											4	5							5	14					2	3							
1SSESTA	5	10	15	25		15	10								5				18	10					5								
1SSHALL		5				5	3				5	3	5	4		3	2		6	14													
1SSCABI		5				5	1		1	2		5	6						5	14	15	15	10	2	5								
1SSPORT			5		1				1	2	5	3	4	5					5	14													
1SSPRESS						5	2	5	1	2			3						10	14				2									
TERSALA			3		3	5	4	5	5			3	4	3			1		5	3							4	4		5			
TERRECE						5	4					4	6			7			5	5							4	4		4			
TERAUDI			4			4	4	5				3	4				2		3	5							5	4		5	4		
TERCIRC			4		3	4	4					5	5	2			4		5	5							5	4					
TERCAFE			4		3	4	4	5		3		3	4	2			1		5	3							5	4	1				
TEREXJA		5				4	4		3	3	5				7					3									5		5	5	
TEREXPO	5	5				5			3	3	4				7					4									5		5	4	
TEREXDI						4	4																						5				
TEREXES		5				4	4		3	3	3				7					4									5		4	4	
TEREXFR	5	5				5	4		3	3	4	4			7						3				5	7			4		4	5	

Tabela de registro das quantidade de trabalho em cada local do planejamento original (PBA) do caso piloto.

Atividade	unid	Qtde Total	2SSADM	2SSVEST	2SSHALL	2SSDML	2SSOFIC	2SSBOMB	2SSESTA	1SSREFE	1SSLIXO	1SSSTELE	1SSDESCD	1SSESTA	1SSHALL	1SSCABI	1SSPORT	1SSPRESS	TERSALA	TERRECE	TERAUDI	TERCIRC	TERCAFE	TEREXJA	TEREXPO	TEREXDI	TEREXES	TEREXFR	
Estrutura	m³	21,0							4,8					4,8											4,8			6,6	
Alvenaria	m²	1.481,7	40,5	101,2		41,6	43,9		104,5	139,8	68,9	141,2		292,5	47,7	235,3								96,7	66,2		10,8	50,8	
Hidráulica	unid	172,0	7,0	28,0		3,0	1,0	10,0		22,0	2,0	5,0		6,0			6,0		55,0		1,0	12,0	14,0						
Incêndio	unid	131,0							35,0					96,0															
Louças	unid	149,0	7,0	28,0						22,0		5,0					6,0		55,0			12,0	14,0						
Elétrica	unid	364,0	7,0	14,0	6,0	4,0	1,0		45,0	12,0	4,0	16,0		102,0	9,0	18,0		6,0	14,0	23,0	31,0	11,0	6,0	17,0	6,0	2,0	2,0	8,0	
Luminária	unid	340,0	7,0	14,0	6,0	4,0	1,0		45,0	12,0	4,0	16,0		102,0	9,0	18,0		6,0	7,0	12,0	31,0	11,0	6,0	17,0		2,0	2,0	8,0	
Exaustão	unid	16,0		2,0						2,0								1,0	7,0		2,0		2,0						
Contramarco	m	342,4		20,0		5,0	1,0			20,0	10,0	29,4				54,5	9,8	9,8	66,7					42,0	36,2		12,0	26,0	
Esquadria de Alumínio	unid	68,0		4,0		1,0	1,0			4,0	2,0	6,0				9,0	2,0	2,0					14,0	7,0	8,0		4,0	4,0	
Reboco	m²	1.284,2	79,2	26,6	35,3					155,5	68,9	266,0	73,7		115,9		91,0								193,3	66,2		10,8	101,6
Contrapiso	m²	787,1	25,0	27,5	33,5				82,0	33,8	24,2	52,0	25,6		48,0	125,0	34,0		13,7	70,0	91,9	65,2	18,3					17,5	
Forro	m²	537,8	25,0	27,5	33,5					33,8		52,0			48,0	20,0	34,0	5,0	13,7	70,0	91,9	65,2	18,3						
Cerâmica	m²	375,1	25,0	27,5	33,5					33,8	24,2	52,0			48,0		34,0		13,7			65,2	18,3						
Ladrilho	m²	540,2							82,0					25,6										185,1	100,8		29,9	116,9	
Granito	unid	76,0	1,0		2,0					1,0					2,0				70,0										
Esquadria de Madeira	unid	26,0	3,0	1,0											1,0				9,0		2,0	7,0	3,0						
Divisória	m²	41,7		27,7						14,0																			
Pintura	m²	4.094,3	104,2	26,6	68,8	41,6	43,9		548,1	189,3		318,0	124,8	754,2	163,9	360,3	125,0	88,7	443,3	214,8	248,8	166,9	63,2						
Limpeza	m²	4.236,3	25,0	27,5	33,5	28,1	14,8		1.284,9	33,8	24,2	52,0	25,6	1.421,0	48,0	125,0	34,0	33,6	285,3	70,0	91,9	65,2	80,5	185,1	100,8		29,9	116,9	
Medição	unid	1,0														1,0													
Gerador	unid	1,0														1,0													
Transformador	unid	1,0														1,0													
Esquadria de Ferro	unid	5,0											2,0			2,0		1,0											
Artefato Metálico	unid	6,0											1,0	3,0		1,0											1,0		
Aterro	m³	882,0																										882,0	
Drywall 1	m²	350,7																	149,3	77,2	56,2	45,5	22,5						
Drywall 2	m²	350,7																	149,3	77,2	56,2	45,5	22,5						
Impermeabilização	m²	894,6																	14,0			4,0	4,0	378,4	167,0	115,9	67,7	143,5	
Gesso Liso	m²	299,3																	131,0	67,6									
Carpete	m²	91,9																			91,9								
Textura	m²	372,0																						193,3	66,2		10,8	101,6	
Pisagismo	m²	233,3																						36,0	27,8		115,9	26,7	

Quantidade de trabalho em cada local no estudo de caso 1

LBS				1. Fundação	2. Estrutura Pré	3. Estrutura Conv	4. Cobertura	5. Piso Concreto	6. Contenções	7. Alvenaria	8. Pintura	9. Instalações	10. Esquadrias	11. Acabamento	12. Imperm.	13. Testes	
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4														
OBRA 2	Externos	Manutenção	1	86		248	132			127		1		1			
		Máquinas	1	43		71	87			61		1		1			
		Apoio 2	1	60		78	123			61		1		1			
		Apoio 1	1	45		65	95			61		1		1			
		Portaria 2	1	37		70	80			61		1		1			
		Portaria 1	1	85		256	160			127		1		1			
		Refeitório	1	165		178	250			463		1		1			
		Vestiário	1	95		280				244		1		1			
		Reservatório	1	100		699								1	1	1	
	Galpão	4	Expedição	260						257		1	13	1			
			Depósito 4	1.650	29		8.672	8.707	720	647	538	1					
		3	Depósito 3	1.650	29		8.672	8.707	720	647	538	1					
		2	Recebimento	195						227		1	13	1			
			Depósito 2	1.650	28		8.672	8.707	720	647	538	1					
		1	Administração	400						332		1	133	1			
			Depósito 1	1.650	28		8.672	8.707	720	647	538	1					
	Quantidades totais				8.171	114	1.945	35.614	34.827	2.878	4.611	2.152	15	159	12	1	1

Datas de início de cada atividade no cronograma PBA do estudo de caso 1:

13. Testes	12. Imperm.	11. Acabamento	10. Esquadrias	9. Instalações	8. Pintura	7. Alvenaria	6. Contenções	5. Piso Concreto	4. Cobertura	3. Estrutura Conv	2. Estrutura Pré	1. Fundação	LBS		
													Nível 4	Nível 3	Nível 2
OBRA 2															
Externos															
		01/11/2018		25/09/2018		18/09/2018			06/08/2018	16/07/2018		06/07/2018	1	Manutenção	
		01/11/2018		13/09/2018		29/08/2018			28/09/2018	18/07/2018		04/07/2018	1	Máquinas	
		07/11/2018		13/09/2018		29/08/2018			28/09/2018	18/07/2018		04/07/2018	1	Apoio 2	
		14/11/2018		05/10/2018		28/09/2018			06/09/2018	26/07/2018		18/07/2018	1	Apoio 1	
		09/11/2018		05/10/2018		28/09/2018			06/09/2018	26/07/2018		18/07/2018	1	Portaria 2	
		19/10/2018		14/09/2018		06/09/2018			26/07/2018	05/07/2018		27/06/2018	1	Portaria 1	
		10/10/2018		29/08/2018		15/08/2018			04/07/2018	20/06/2018		13/06/2018	1	Refeitório	
		12/11/2018		01/08/2018		18/07/2018				27/06/2018		13/06/2018	1	Vestiário	
25/09/2018	14/09/2018	09/11/2018								27/07/2018		06/07/2018	1	Reservatório	
Galpão															
		05/11/2018	25/09/2018	25/09/2018		11/09/2018						18/06/2018	Expedição	4	
				13/07/2018	30/08/2018	22/08/2018	01/08/2018	20/08/2018	06/08/2018		27/07/2018		Depósito 4		
					16/08/2018	08/08/2018	18/07/2018	08/08/2018	23/07/2018		13/07/2018	04/06/2018	Depósito 3	3	
		15/10/2018	10/09/2018	10/09/2018		24/08/2018						15/05/2018	Recebimento	2	
				15/06/2018	08/08/2018	31/07/2018	10/07/2018	31/07/2018	13/07/2018		12/06/2018		Depósito 2		
		25/09/2018	17/08/2018	17/08/2018		20/07/2018						10/04/2018	Administração	1	
				25/05/2018	17/07/2018	09/07/2018	18/06/2018	07/08/2018	03/07/2018		22/05/2018		Depósito 1		