

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CTC – CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Rodolfo Martins Moura Silva

PROPOSTA DE PROGRAMAÇÃO DE EDIFICAÇÃO
RESIDENCIAL DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO
TÉCNICA DE LINHA DE BALANCEAMENTO (LDB)

Florianópolis
2015

Rodolfo Martins Moura Silva

**PROPOSTA DE PROGRAMAÇÃO DE EDIFICAÇÃO
RESIDENCIAL DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO
TÉCNICA DE LINHA DE BALANCEAMENTO (LDB)**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil. Sob a orientação da Professora Dr.^a Fernanda Fernandes Marchiori.

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Rodolfo Martins Moura

Proposta de programação de edificação residencial de múltiplos pavimentos utilizando técnica de linha de balanceamento (LDB) / Rodolfo Martins Moura Silva ; orientadora, Fernanda Fernandes Marchirori - Florianópolis, SC, 2015.

93 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

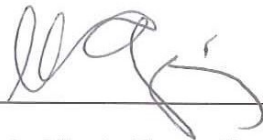
1. Engenharia Civil. 2. Planejamento. 3. Programação de projetos repetitivos. 4. Linha de balanceamento. I. Marchirori, Fernanda Fernandes . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

**PROPOSTA DE PROGRAMAÇÃO DE EDIFICAÇÃO
RESIDENCIAL DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS
UTILIZANDO TÉCNICA DE LINHA DE
BALANCEAMENTO (LDB)**

**RODOLFO MARTINS MOURA SILVA
ACADÊMICO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado e aprovado, em sua forma final, pelo Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 08 de julho de 2015.



Prof. Luiz Alberto Gomes, Dr.
Coordenador do Curso



Profª. Fernanda Fernandes Marchiori, Drª.
Orientadora

Dedico este trabalho aos meus pais Luiz Mário e Denise, e à minha irmã, Carla, meus maiores incentivos e minhas maiores inspirações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Luiz Mário e Denise, pelo apoio e incentivo incondicional para que esse momento se realizasse e à minha irmã, Carla, pelo companheirismo e amizade.

Agradeço à Professora Fernanda F. Marchiori por aceitar meu convite de orientar este trabalho, pelas correções, críticas e sugestões que foram fundamentais para a sua conclusão e êxito. Agradeço ainda os ensinamentos compartilhados durante o curso, em especial às oportunidades concedidas nos últimos semestres da graduação.

Ao engenheiro Leonardo L. Nunes, por ter contribuído com o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Antonio Edesio Jungles, pela disponibilidade de participação na banca.

Agradeço a todos os professores e funcionários da UFSC, aos meus colegas de sala e futuros colegas de trabalho que foram tão importantes na minha vida acadêmica, pelo agradável convívio, incentivo e aprendizado.

Agradeço aos amigos que cultivei durante meu curso, cujas lembranças serão levadas por toda vida.

Muito obrigado!

“Põe tuas delícias no Senhor, e os desejos do teu coração ele atenderá. Confia ao Senhor a tua sorte, espera nele, e ele agirá.”

(Salmos, 36: 4,5)

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo fundamental realizar a programação de uma obra de múltiplos pavimentos tipo utilizando ritmos constantes de produção das equipes. A metodologia de trabalho foi o estudo de caso, no qual se procurou aplicar os conceitos da técnica de linha de balanço na programação de um empreendimento a ser construído na cidade de Florianópolis/SC. Como resultado, foram definidos os ritmos necessários a serem impostos na execução das atividades de modo a respeitar o prazo de entrega da obra e evitar descontinuidade dos serviços causada pelo desbalanceamento das operações.

Palavras-Chave: Planejamento. Programação de Projetos Repetitivos. Linha de Balanceamento.

ABSTRACT

This paper has proposed programming a work of multiple floors type using constant rates of production teams. The methodology was the case study, in which it sought to apply the concepts line of balance technique in programming a project to be built in the city of Florianópolis / SC. As a result, the rhythms needed to be imposed in the execution of activities in order to meet the deadline of delivery of the work and avoid disruption of services caused by the imbalance of operations have been defined.

Keywords: Planning. Repetitive programming projects. Line of balance.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Justificativa.....	16
1.2 Objetivo geral	17
1.3 Objetivos específicos.....	17
1.4 Delimitação do trabalho	18
1.5 Estrutura do trabalho	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Gerenciamento de projetos	20
2.2 O processo de planejamento e controle da produção (PCP).....	21
2.2.1 Dimensão vertical do PCP	22
2.2.2 Dimensão horizontal do PCP	23
2.3 A obra como projeto.....	24
2.4 Ciclo de vida do projeto	24
2.5 Objetivos do planejamento	26
2.6 Programação de obras.....	27
2.6.1 Etapas do processo.....	27
2.6.2 Informações geradas a partir da programação	31
2.7 Técnicas de programação de obras.....	33
2.7.1 Diagrama de Gantt ou gráfico de barras	33
2.7.2 Técnicas de rede.....	33
2.8 Ferramentas de apoio à programação	34
2.8.1 EAP / WBS	34
2.8.2 Curva S	35
2.8.4 PPC	36
2.9 Efeito aprendido.....	37

2.10 Linha de balanço (LDB)	38
2.10.1 Programação de projetos repetitivos	38
2.10.2 Histórico	39
2.10.3 A técnica de linha de balanço.....	39
2.10.4 Vantagens e limitações.....	41
2.10.5 Balanceamento das atividades.....	42
2.10.6 Roteiro de aplicação	44
3 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE LDB: ESTUDO DE CASO	45
3.1 Descrição da empresa	45
3.2 Caracterização da obra.....	45
3.3 Identificação das atividades.....	47
3.4 Levantamento de quantitativos e esforços (Hh).....	49
3.5 Considerações sobre a estratégia de ataque da obra	50
3.6 Lançamento dos dados na ferramenta computacional utilizada..	51
3.7 Duração das atividades e dimensionamento das equipes de produção	54
4 APRESENTAÇÃO DA LINHA DE BALANÇO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	56
4.1 Duração das atividades e data de conclusão da obra	56
4.2 Balanceamento das operações	58
4.3 Dimensionamento das equipes de produção	61
4.4 Representação gráfica das Linhas de Balanço	63
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	86
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXO 1: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA LDB DO PROJETO	91
ANEXO 2: PLANTA BAIXA PAVIMENTO TIPO	92

ANEXO 3: PLANTA BAIXA PAVIMENTO ÁTICO..... 93

Figura 1 Dimensão horizontal do processo de planejamento.	23
Figura 2 Ciclo de vida do projeto	26
Figura 3 Etapas do processo de programação.	28
Figura 4 Curva S.	35
Figura 5 Exemplo de PPC geral.	36
Figura 6 Exemplo PPC por equipe.	37
Figura 7 Ritmo de produção definido pela relação unidades x tempo. .	40
Figura 8 Informações do digrama da LDB.	41
Figura 9 Representação de programação paralela.	42
Figura 10 Ritmo de atividades consecutivas.	44
Figura 11 Implantação.	46
Figura 12 Elevação 1.	47
Figura 13 EAP do projeto.	48
Figura 14 Listagem de atividades no MS Project para a obra estudada.	52
Figura 15 Calendário do projeto.	53
Figura 16 Balanceamento entre atividades.	58
Figura 17 Latência inserida no MS Project para não haver intersecção entre as atividades "contramarcos" e "alvenaria".	59
Figura 18 Representação da latência e das diferenças de ritmo de execução de alvenaria e contramarcos.	60
Figura 19 Representação gráfica de LDB para todo o projeto.	64
Figura 20 LDB Setembro 2015.	66
Figura 21 LDB Outubro de 2015.	67
Figura 22 LDB Novembro de 2015.	68
Figura 23 LDB Dezembro de 2015.	69
Figura 24 LDB Janeiro de 2016.	70
Figura 25 LDB Fevereiro de 2016.	71
Figura 26 LDB Março de 2016.	72
Figura 27 LDB Abril de 2016.	73
Figura 28 LDB Maio de 2016.	74
Figura 29 LDB Junho de 2016.	75
Figura 30 LDB Julho de 2016.	76
Figura 31 LDB Agosto de 2016.	77
Figura 32 LDB Setembro de 2016.	78
Figura 33 LDB Outubro de 2016.	79
Figura 34 LDB Novembro de 2016.	80
Figura 35 LDB Dezembro de 2016.	81
Figura 36 LDB Janeiro de 2017.	82

Figura 37 LDB Fevereiro de 2017.....	83
Figura 38 LDB Março de 2017.....	84
Figura 39 LDB Abril de 2017.....	85

Tabela 1 Informações geradas a partir da programação.....	32
Tabela 2 Lista de atividades e precedências.....	48
Tabela 3 Quantidade de homem hora demandada.....	50
Tabela 4 Sequência de execução dos serviços.....	51
Tabela 5 Carga horária de trabalho adotada.....	53
Tabela 6 Duração total das atividades.....	57
Tabela 7 Equipes de produção adotadas.....	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

A Indústria da Construção Civil ocupa inegável lugar de destaque dentre as atividades econômicas no Brasil, tendo uma participação de 5,4% no PIB Nacional no ano de 2010 (Contas Nacionais/IBGE). O setor assume também relevância quanto ao desenvolvimento social do país quando observada a grande quantidade de mão de obra empregada na sua cadeia produtiva, sendo responsável por 7,6% do total de postos de trabalho ocupados em 2010 (PME/IBGE).

Apesar da grande quantidade de recursos que mobiliza, grande parte das empresas de construção civil, fundamentalmente as de pequeno porte, não têm um processo de planejamento e gerenciamento de obras estabelecido, e quando possuem, são, em geral, processos pouco sofisticados, desprovidos de uma base conceitual e baseados apenas na vivência prática dos profissionais envolvidos (ASSUMPCÃO, 1998 *apud* PRADO, 2002).

De acordo com Zaccarelli (1982), quando a produção é executada em regime de artesanato, com o artesão sendo responsável pela realização do produto do início ao fim, o empresário pode simplesmente dizer quais as características necessárias do produto final e o artesão saberá determinar quando e como fazer cada operação para entregar esse produto. A programação da produção é feita, então, pelo próprio trabalhador e em bases plenamente informais. O controle da produção, também em bases informais, será feito pela supervisão direta do empresário.

Entretanto, para produzir com eficiência, reduzindo os custos da produção, não é mais possível simplesmente comunicar às seções produtivas a necessidade de produzir certa quantidade de produto. Torna-se necessário comunicar aos departamentos produtivos quais operações são necessárias; quando convém que elas sejam executadas; além de gerenciar a disponibilidade e insumos necessários à produção (ZACCARELLI, 1982).

Diante disso e devido a mudanças no mercado de construção civil e no perfil dos clientes e consumidores, os quais têm exigido produtos de qualidade e com prazos de entrega cada vez mais restritos, surge a necessidade de ferramentas de planejamento que garantam o controle da produção, atingindo metas de prazo e custo do empreendimento (BRANCO, 2007).

Acredita-se que o poder de competição de uma empresa esteja diretamente relacionado com sua capacidade de produção, inovação, gestão empresarial e de recursos humanos. Paulson Jr. *apud* Prado (2002), destaca que a realização do planejamento pode trazer uma economia de 25% do custo total de construção. Koskela (1992) *apud* Prado (2002), relata que um processo de planejamento e controle da produção eficiente pode influenciar na redução do número de acidentes de trabalho e dos tempos improdutivos de mão de obra.

Dessa forma, fica clara a necessidade de as empresas pertencentes à indústria da construção civil entenderem-se como um sistema organizacional, buscando sincronizar sua produção com a realidade e expectativas do sistema que as envolvem, permitindo-se definir suas estratégias para manter ou ampliar mercado (FILHO; ROCHA; SILVA, 2004).

Neste ambiente, a utilização de uma ferramenta que explicita o planejamento de uma forma clara e não somente aos gestores da obra, bem como às equipes de produção, é fundamental. A linha de balanço supre essa necessidade à medida que nela é possível visualizar, didaticamente, a atividade a ser feita, o local e o prazo de execução.

1.2 Objetivo geral

Simular a programação de uma obra de edificação residencial com múltiplos pavimentos utilizando a técnica de Linha de Balanço.

1.3 Objetivos específicos

- Verificar a aplicabilidade da Linha de Balanço em edificações de caráter repetitivo;
- Identificar as atividades a serem executadas durante a construção das unidades de repetição da obra em estudo;
- Definir precedências e plano de ataque da obra;
- Dimensionar as equipes de trabalho;
- Definir as datas de início e término para cada atividade;

- Definir o ritmo e efetuar o balanceamento das operações;
- Representar graficamente a linha de balanço para cada atividade;
- Elencar as dificuldades existentes durante o processo de programação da obra do estudo de caso.

1.4 Delimitação do trabalho

Este trabalho limita-se a realizar a aplicação de conceitos da técnica de linha de balanço para a programação das unidades básicas de repetição de edificação residencial na cidade de Florianópolis/SC.

Na programação será desconsiderado o efeito da curva de aprendizado, e será admitido ritmo constante de execução dos pavimentos tipo.

As atividades de revestimento externo, por não serem executadas separadamente em cada pavimento, mas sim por panos de fachada, não compõem o escopo deste trabalho.

Por não ter os projetos executivos disponíveis em tempo hábil, a quantidade de homens-hora necessária para a execução de cada atividade foi determinada a partir das características geométricas da edificação.

Este trabalho não se estenderá à etapa de controle, uma vez que a obra em estudo se encontra (em junho de 2015) na fase de infraestrutura, todavia este trabalho poderá servir de base para o acompanhamento das atividades ao longo da execução da obra para os pavimentos-tipo.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho será composto por cinco capítulos.

No primeiro, é feita uma contextualização do tema e procura-se ressaltar sua relevância. Além disso, são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho.

O segundo capítulo dedica-se a fazer uma revisão teórica sobre planejamento e gerenciamento de obras, apresentando alguns conceitos básicos relacionados ao tema, além de discorrer sobre algumas técnicas de programação. Por ser o objeto principal deste trabalho, a técnica de linha de balanço é apresentada com maior grau de detalhamento, são feitos comentários sobre seu histórico, vantagens comparativas e roteiro

de aplicação. Esse capítulo tem como base artigos, dissertações, teses e livros já publicados.

A seguir é feita a caracterização do projeto e o desenvolvimento da metodologia de aplicação dos conceitos da linha de balanço na programação da obra.

No quarto capítulo são apresentadas as linhas de balanço geradas e são feitos comentários a respeito dos resultados da programação, analisando o ritmo de execução das atividades e a demanda de mão de obra.

Por fim, são feitas considerações a respeito dos objetivos inicialmente propostos e sugestões de continuidade para o trabalho.

A representação gráfica das linhas de balanço em uma maior escala, bem como as plantas baixas dos pavimentos tipo e ático podem ser visualizadas nos anexos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gerenciamento de projetos

Gerenciamento de projetos pode ser entendido como a aplicação do conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto para atender aos seus objetivos (Guia PMBOK, 2013).

Existem algumas etapas que são, de modo geral, inerentes ao gerenciamento de um projeto, como:

- a) Identificação dos requisitos;
- b) Abordagem das diferentes necessidades, preocupações e expectativas das partes interessadas no projeto;
- c) Estabelecimento de comunicações ativas e eficazes entre as partes interessadas;
- d) Estabelecimento de diretrizes visando o atendimento aos requisitos do projeto e a criação de suas entregas;
- e) Equilíbrio das restrições do projeto, as quais incluem:
 - Escopo
 - Qualidade
 - Cronograma
 - Orçamento
 - Recursos
 - Riscos

Esses fatores restritivos estão relacionados de tal forma que a partir do momento que um deles mudar, provavelmente um ou mais fatores serão alterados.

Por exemplo, caso haja intenção de se encurtar o cronograma, é possível que o custo do projeto (orçamento) seja maior, devido à necessidade de aumentar a quantidade de recurso empregada a fim de gerar a mesma quantidade de entrega num espaço de tempo menor. Se não houver disponibilidade orçamentária suficiente para isso, o escopo e/ou a qualidade podem ser afetados (Guia PMBOK, 2013).

2.2 O processo de planejamento e controle da produção (PCP)

A definição de planejamento não é consensual na literatura, sendo amplamente discutida (SOARES, 2003). Para este trabalho, julgou-se mais adequado o conceito proposto por Formoso (1991) *apud* Bernardes (2001), o qual define planejamento como “o processo de tomada de decisão que envolve o estabelecimento de metas e dos procedimentos necessários para atingi-las, sendo efetivo quando seguido do controle”. A preferência por essa definição justifica-se devido à visão do controle como sendo inerente ao planejamento, e não um processo distinto que tem início após a conclusão do planejamento, como sugerido em outros trabalhos.

A realização do planejamento é justificada devido a importantes funções que desempenha no gerenciamento do empreendimento, conforme explicitado abaixo (LAUFER E TUCKER, 1987 *apud* FILHO, 2003):

- a) Execução: é a forma pela qual os planos elaborados tornam-se especificações, orientações e procedimentos que guiam a operacionalização da produção;
- b) Previsão: avaliação de dados passados com o intuito de serem realizadas projeções a respeito do futuro;
- c) Coordenação: o planejamento deve facilitar a comunicação entre os níveis gerenciais e as diversas partes envolvidas no processo;
- d) Controle: mede e avalia o desempenho, bem como toma ações corretivas quando ineficiências são detectadas;
- e) Otimização: envolve a seleção e a avaliação de estratégias dentro de um empreendimento, com o objetivo de aumentar tanto a exequibilidade do mesmo, quanto a eficiência dos processos de produção utilizados.

Laufer e Tucker (1987) *apud* Soares (2003), dividem o processo de planejamento e controle da produção em duas dimensões: horizontal e vertical. Na dimensão vertical o planejamento está dividido em níveis hierárquicos, enquanto que a dimensão horizontal do planejamento faz referência às diferentes etapas do processo de PCP em cada nível hierárquico.

2.2.1 Dimensão vertical do PCP

Planejamento da construção é uma tarefa complexa, que envolve um grande número de atividades, com elevado grau de incerteza e restrições conflitantes, como tempo, espaço, custo e disponibilidade de recursos (LEVITT, 1986 *apud* SOARES, 2003). Com o intuito de reduzir os efeitos nocivos da incerteza, Laufer e Toker (1987) *apud* Soares (2003) propõem a divisão do gerenciamento da construção em três níveis hierárquicos: alto (estratégico), médio (tático) e baixo (operacional). Cada um desses níveis requer planos com graus de detalhamento diferentes, de acordo com o nível de incerteza envolvido (SOARES, 2003). Em geral, os planos deverão ser mais ricos em detalhes conforme menor seja a incerteza envolvida no projeto.

- a) Nível estratégico: neste nível as decisões estão relacionadas a questões de longo prazo, identificando os objetivos principais do empreendimento. É neste nível que são definidos também o quê, como, e onde produzir; quais serão as fontes de financiamento, qual a estratégia de marketing e vendas do produto. O plano gerado deve apresentar um baixo grau de detalhes e destina-se à alta gerência da empresa, de forma a mantê-la informada sobre as atividades que estão sendo realizadas (FILHO, 2003);
- b) Nível tático: este nível o planejamento busca vincular as metas vinculadas no plano estratégico com aquelas designadas no plano operacional. É a partir do plano estratégico que os fluxos de trabalho serão analisados, visando a um sequenciamento que reduza a parcela das atividades que não agregam valor ao processo produtivo. Neste nível é feita a programação e alocação de recursos, bem como o levantamento de restrições relacionadas ao desenvolvimento dos trabalhos (FILHO, 2003);
- c) Nível operacional: o planejamento de curto prazo, ou operacional, tem o papel de orientar diretamente a execução da obra. Em geral é realizado em ciclos semanais ou diários, sendo caracterizado pela alocação de recursos físicos (materiais, mão de obra, equipamentos, ferramentas) às atividades programadas no plano de médio prazo, bem como o fracionamento dessas

atividades em pacotes de trabalho (LANTELME; TZORTZOPOULOS; FORMOSO, 2001). Um maior detalhamento da programação da produção e realização do controle do processo também integram esse nível de planejamento (FILHO, 2003).

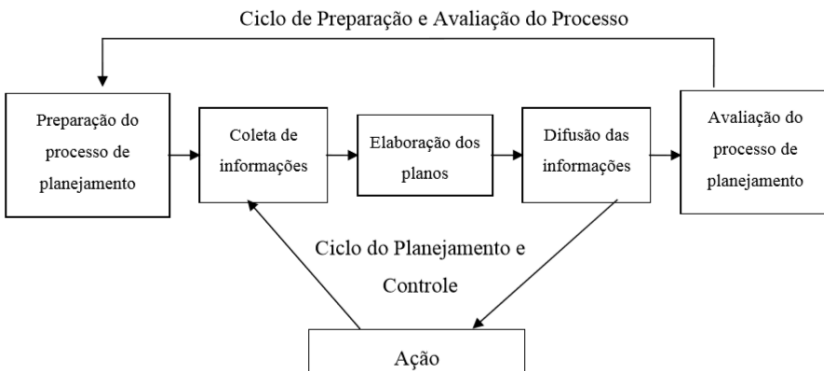
Para Tubino (2009), um sistema produtivo será tão mais eficiente quanto consiga sincronizar a passagem de estratégias para táticas e de táticas para operações de produção e vendas dos produtos.

2.2.2 Dimensão horizontal do PCP

De acordo com Laufer e Tucker (1987) *apud* Moraes (2007), na dimensão horizontal, o processo de planejamento envolve cinco fases, conforme ilustrado da figura 1:

- 1) Planejamento do processo de planejamento;
- 2) Coleta de informações necessárias à elaboração do planejamento;
- 3) Preparação de planos;
- 4) Difusão da informação;
- 5) Avaliação do processo de planejamento.

Figura 1 Dimensão horizontal do processo de planejamento.



Fonte: (LAUFER & TUCKER, 1987)

Segundo Bernardes (2001), analisando o processo de planejamento esquematizado na figura 1, percebe-se a existência de um ciclo de replanejamento, o qual inicia com a coleta de informações sobre o sistema que está sendo controlado. Essas informações são processadas na etapa de elaboração dos planos, e depois difundidas para as entidades que delas necessitam (etapa de difusão das informações). A partir disso, são geradas ações que possibilitem o cumprimento das metas fixadas. São, então, coletadas novamente informações sobre o sistema controlado, objetivando a identificação de possíveis desvios nas metas dos planos e suas causas. Mais uma vez, as informações são processadas, os planos são reformulados e difundidos.

2.3 A obra como projeto

De acordo com Mattos (2010), no cotidiano da Engenharia Civil o termo projeto é associado ao conjunto de plantas, cortes, cotas e memoriais de cálculo necessários à execução de uma edificação (projetos arquitetônicos, estruturais, de instalações elétricas, hidrossanitárias, entre outros). No entanto, neste trabalho o termo projeto será utilizado em sua denotação gerencial: “um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo” (Guia PMBOK, 2013).

A partir dessa definição, pode-se citar duas importantes características de um projeto de construção. A sua temporariedade, significando que o projeto está delimitado no tempo, com início e fim claramente definidos; e a sua unicidade, a qual representa que uma obra de engenharia não é produto de uma linha de montagem ou fabricação em série, mas sim a concretização do esforço realizado para gerar um bem tangível e único (MATTOS, 2010).

2.4 Ciclo de vida do projeto

Ciclo de vida do projeto é a série de fases pelas quais um projeto passa, do início ao término. As fases podem ser desmembradas por objetivos funcionais ou parciais, resultados ou entregas intermediárias, marcos específicos no escopo geral do trabalho, ou disponibilidade financeira (Guia PMBOK, 2013).

A estrutura genérica do ciclo de vida do projeto geralmente apresenta as seguintes características:

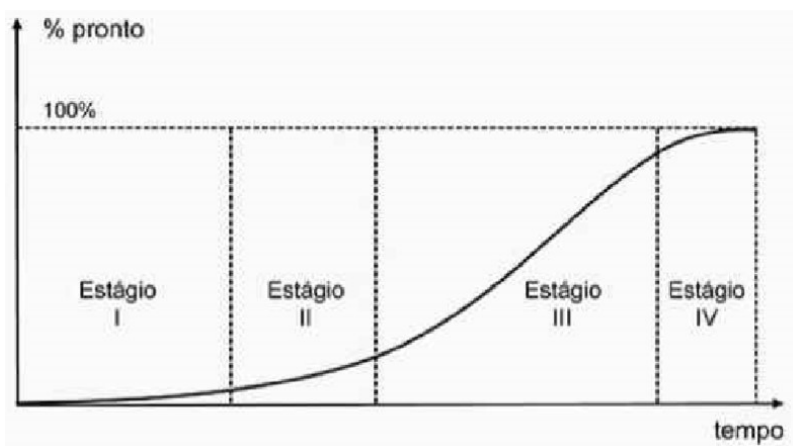
- Níveis de custo e de pessoal baixos no início, atingem valor máximo enquanto o projeto é executado e caem rapidamente conforme o projeto é finalizado;
- Os riscos e as incertezas são maiores no início do projeto, diminuindo ao longo da vida do projeto na medida em que decisões são tomadas e entregas são aceitas;
- A capacidade de influenciar as características finais do produto, sem impacto significativo sobre os custos, é mais alta no início do projeto e diminui à medida que ele progride para seu término.

Segundo Mattos (2010), o ciclo de vida de um empreendimento compreende quatro diferentes estágios, os quais são comentados a seguir.

- I. Concepção e viabilidade: é nesse estágio onde é definido o escopo do projeto e são realizados estudos de viabilidade, com identificação de fontes de financiamento e elaboração das estimativas iniciais de custos. É também elaborado o projeto básico de engenharia;
- II. Detalhamento do projeto e o do planejamento: passa-se do projeto básico para o projeto executivo, com inclusão de todos os elementos necessários à execução da obra. É gerado o orçamento analítico, com margem de erro menor do que o orçamento preliminar, e avança-se também no planejamento da obra, com a elaboração de um cronograma realista para obra e definição de marcos contratuais;
- III. Execução: execução dos serviços de campo, com utilização de materiais, mão de obra e equipamentos; controle de qualidade; administração contratual;
- IV. Finalização: colocação em funcionamento e testes de operação do produto final; transferência de responsabilidades e entrega da obra.

A figura 2 ilustra a evolução típica dos projetos: lenta no estágio inicial, rápida no estágio de execução, e novamente lenta na finalização do projeto.

Figura 2 Ciclo de vida do projeto



Fonte: (MATTOS, 2010)

2.5 Objetivos do planejamento

Dentre os objetivos do planejamento da produção, os principais são: assistir o gerente na direção da empresa; coordenar as diferentes equipes envolvidas na execução da obra; permitir um controle eficiente da produção; e por fim, possibilitar a comparação de alternativas, auxiliando a tomada de decisão (LAUFER e TUCKER, 1987 *apud* MENDES JR., 1999).

Na etapa de execução, o planejamento é uma ferramenta fundamental para a elaboração de planos de ação, os quais englobam especificações e procedimentos que guiam a operacionalização da produção (PEER, 1974 *apud* PRADO, 2002).

Já o controle tem como objetivo medir e avaliar o desempenho da produção, além de fornecer subsídios para ações corretivas quando estas forem necessárias (PRADO, 2002).

A otimização consiste na seleção e avaliação de estratégias alternativas dentro do empreendimento, com o objetivo de aumentar a exequibilidade do mesmo. A partir de critérios pré-estabelecidos, simulações podem ser feitas a fim de selecionar a melhor estratégia, a melhor programação e o melhor método de execução possível (MARCHESAN, 2001).

2.6 Programação de obras

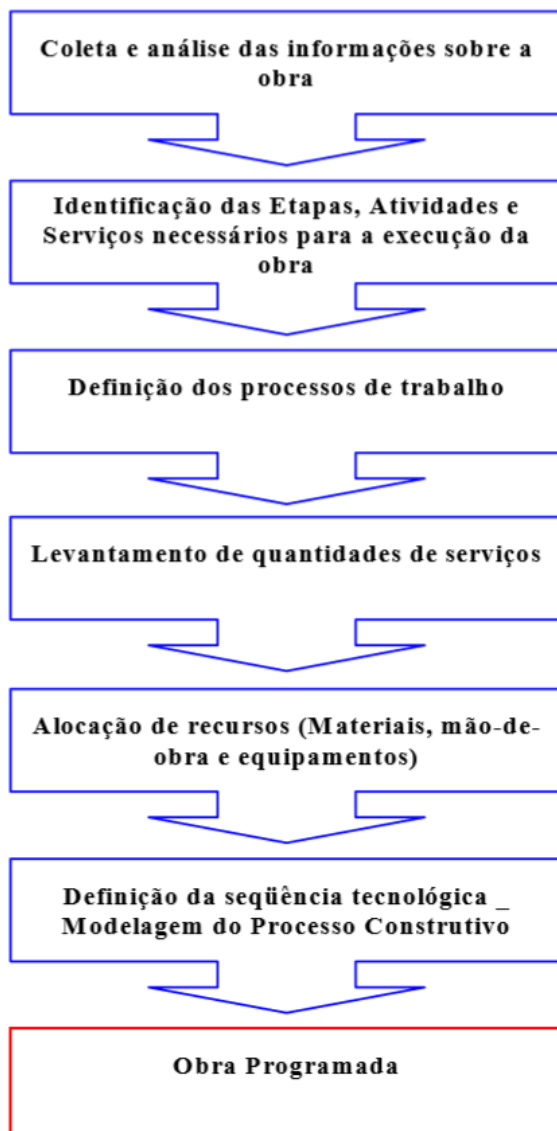
É comum a confusão e sobreposição de conceitos referentes a planejamento e programação de obras. Enquanto o Planejamento pode ser entendido como o processo de desenvolvimento de alternativas e tomada de decisão, segundo critérios pré-estabelecidos, para a concretização de um objetivo futuro (BIO,1985 *apud* BERNARDES; REICHMANN; FORMOSO, 1997), a Programação consiste, fundamentalmente, em elaborar previsões de comportamento quanto a prazos, recursos e custos, subsidiando procedimentos e meios (ASSUMPÇÃO 1996, *apud* MARCHIORI 2014).

2.6.1 Etapas do processo

Segundo Assumpção (1988) *apud* Prado (2002), fazem parte da programação de uma obra: identificação das atividades a serem realizadas; definição de sequência de execução; previsão dos recursos necessários; estimativa de custos; estabelecimento de prazos de conclusão, entre outras informações necessárias para a plena execução da obra.

A figura 3 propõe um resumo das etapas de programação de obras, que serão melhor detalhadas a seguir:

Figura 3 Etapas do processo de programação.



Fonte: (MAZIERO, 1990)

2.6.1.1 Coleta e análise de informações sobre a obra

É a etapa que dá início ao processo de programação, e engloba o conhecimento sobre a estratégia da obra; quais os prazos e custos a serem cumpridos; disponibilidade de recursos (materiais, mão de obra e equipamentos); condições de contorno como topografia do terreno, edificações vizinhas, limitação de acesso, restrições ambientais e urbanísticas impostas pela legislação local; análise da compatibilização dos projetos e identificação prévia de eventuais problemas propondo alterações que possam facilitar a execução da obra, entre outras informações (MORAES, 2007).

Para PRADO (2002), a estratégia leva em consideração a disponibilidade de recursos, combinada com a previsão de influência de fatores externos (condições climáticas, inflação, variações de mercado, modelo de financiamento), para definir o desenvolvimento da obra visando atingir os objetivos da empresa. A estratégia não é definida durante a programação, mas sim para a programação (ASSUMPCÃO 1988 *apud* PRADO 2002).

2.6.1.2 Identificação de atividades e serviços

Atividades são um conjunto de operações necessárias para executar uma parte específica da construção. Já os serviços são operações menores, envolvendo homens, materiais e equipamentos, que por meio de um processo, executam um determinado trabalho dentro da construção (MAZIERO 1990; SCHMITT, 1992 e SCHMITT; HEINECK, 2001 *apud* PRADO 2002).

A partir dessas definições, pode-se fazer uma analogia como a execução da estrutura de concreto armado sendo uma atividade da obra, composta pelos serviços de confecção e montagem de formas; escoramento; corte, dobra e posicionamento da armadura de aço e concretagem.

Para Mattos (2010), a maneira mais prática de identificar as atividades necessárias para a execução da obra é a partir da elaboração da Estrutura Analítica do Projeto (EAP). A EAP permite organizar o processo de desdobramento do trabalho, permitindo que o conjunto de atividades seja facilmente checado e corrigido.

2.6.1.3 Definição do processo de trabalho

O processo de trabalho pode ser entendido como o meio ou técnica utilizada para executar um determinado serviço no canteiro de obras.

De acordo com Moraes (2007), após a definição das atividades e serviços, o passo seguinte é a definição do processo de trabalho. Diferentes processos resultam na necessidade de equipes e equipamentos específicos, o que resulta em diferentes produtividades e custos. Como exemplo, o transporte de concreto durante a concretagem de uma laje pode ser feito por diferentes processos de trabalho, dentre eles: utilização de bombas, guias, guindastes ou gericas com transporte vertical feito pelo elevador de obras.

A definição inadequada dos processos de trabalho durante o processo de programação é umas das principais origens de desvios, pois muitos processos adotados durante a programação não são os adotados durante a execução da obra (ASSUMPCÃO 1988, *apud* MORAES, 2007).

2.6.1.4 Levantamento de quantidades de serviço

Tão importante quanto definir quais serviços deverão ser executados na obra, é saber quanto de cada serviço deverá ser feito, pois é com base nessas informações que o programador deve dimensionar as equipes de trabalho e prever a duração de cada serviço ou atividade.

Segundo Mattos (2006), o levantamento de quantidades deve ser feito com base em desenhos fornecidos pelo projetista, levando em consideração as dimensões especificadas e suas características técnicas.

2.6.1.5 Alocação e nivelamento de recursos

Conhecidos os serviços a serem executados, os processos de trabalho, os índices de produtividade e as quantidades de serviço, a alocação de recursos é feita conjugando-se a disponibilidade de materiais, mão de obra e equipamentos, com as durações necessárias. A relação entre quantidade de recurso disponível para execução de um determinado serviço e sua duração pode, dentro de alguns limites, ser considerada linear e inversamente proporcional.

Dessa forma, para que uma mesma quantidade de serviço seja executada em metade do tempo inicialmente previsto, a quantidade de

recurso alocada deverá ser duas vezes maior. Importante ressaltar que aumentos excessivos de recursos podem não implicar em diminuições significativas de duração (PRADO 2002).

Entende-se por nivelamento de recursos o tipo de programação que busca a redução das variações dos recursos ao longo do tempo. Para realizar o nivelamento, devem ser identificados serviços que utilizam o recurso a ser nivelado e, a partir da análise do cronograma físico da obra e do histograma de recursos, buscar a solução desejada (MORAES 2007).

2.6.1.6 Definição da sequência tecnológica

Segundo Assumpção (1988) *apud* Moraes (2007), definir a sequência tecnológica é estabelecer qual a ordem cronológica de execução de atividades; quais atividades podem ser executadas paralelamente a outras; qual o tipo de dependência entre as atividades; e quais as defasagens entre início e término das atividades dependentes.

Utilizando-se técnicas de programação (gráficos de barra, diagramas de rede, entre outras) podem ser elaborados modelos que representem o processo construtivo e que possibilitem avaliar o comportamento da obra em relação às suas variáveis (recursos, prazos e custos). Após a construção desses modelos, é possível simular alternativas de produção, gerando informações na forma de orçamentos, cronogramas, histogramas e gráficos para serem utilizados pelos diferentes setores da empresa.

2.6.2 Informações geradas a partir da programação

A tabela 1 a seguir, elaborada por Prado (2002), exemplifica os tipos de informações que podem ser geradas pelas técnicas de programação de obras.

Tabela 1 Informações geradas a partir da programação.

INFORMAÇÕES GERADAS			
SETOR	CUSTOS	PRAZOS	RECURSOS
Financeiro	Na forma de orçamentos globais, para que em conjunto com dados sobre a evolução física da obra, possam ser elaborados os programas de desembolso e fluxo de caixa.	Na forma de cronograma global (físico).	
Gerências	Orçamentos globais e histogramas de tempo x custo, para que, em conjunto com os fluxos de caixa gerados pelo setor financeiro e com informações semelhantes de outras obras, sejam feitas as compatibilizações econômico e financeira da empresa.	Na forma de cronograma físico global, para conhecimento dos prazos de conclusão da obra.	Na forma de cronogramas globais de mão de obra, de materiais e de equipamentos, para possibilitar a avaliação do uso destes recursos com outras obras da empresa.
Comercial	Na forma de orçamento detalhado, para subsidiar as vendas ou elaboração de contratos e licitações.		
Fluxo de suprimentos	Na forma de Curva ABC, para definição de lotes econômicos para compra de materiais.	Na forma de relatórios que definem as datas marco para aluguel de equipamentos de longos prazos de entrega (elevadores, compactadores), de forma a possibilitar a antecipação dos contratos de fornecimento.	Em forma de cronogramas de materiais, para possibilitar o desenvolvimento de uma política de compras e estoque de materiais.
Execução	Na forma de orçamento detalhado, histogramas de tempo x custo de Curva ABC para norteamento de compras e controle de gastos.	Na forma de cronogramas físicos detalhados, com destaque para atividades críticas e datas marco, para servirem como diretrizes para a execução.	Na forma de cronogramas detalhados de mão de obra, de materiais e de uso de equipamentos, bem como na forma de histogramas, para servirem como diretrizes de execução.
Controle	Na forma de orçamento detalhado, histogramas de tempo x custo de Curva ABC, para estabelecimento das bases para o controle.	Na forma de cronogramas físicos detalhados, com destaque para atividades críticas e datas marco, para o estabelecimento das bases para o controle.	Na forma de cronogramas detalhados de mão de obra, de materiais e de uso de equipamentos, para o estabelecimento das bases para o controle.
Pessoal			Na forma de cronogramas de mão de obra para possibilitar o desenvolvimento de uma política de contratação de funcionários.

Fonte: (PRADO, 2002)

2.7 Técnicas de programação de obras

Dentre as várias técnicas de programação de obras existentes, serão abordadas, a seguir, algumas das mais popularizadas no planejamento de obras: gráfico de barras ou diagrama de Gantt, as técnicas de rede (PERT / CPM) e Linha de Balanço.

2.7.1 Diagrama de Gantt ou gráfico de barras

Batizado em homenagem ao engenheiro norte-americano Henry Gantt, o diagrama de Gantt é, de acordo com Mendes Jr. (1999), o mais simples método de planejamento e ainda o mais utilizado na construção civil tanto para o planejamento quanto para o controle de obras.

Em uma tabela de dupla entrada lista-se, nas linhas, as atividades a serem executadas, enquanto que o eixo horizontal representa o tempo de duração dessas atividades (ZACCARELLI, 1982).

O gráfico de barras constitui uma importante ferramenta de controle, porque é visualmente atraente, fácil de ser lido e apresenta de maneira muito simples e imediata a posição relativa das atividades ao longo do tempo (MATTOS, 2010).

Como desvantagem, o diagrama não deixa clara a interdependência das atividades, além da necessidade de determinar as datas de início e fim, além das folgas, por outra técnica e antes do início da montagem do diagrama (LIMMER, 1997 *apud* BRANCO, 2007).

2.7.2 Técnicas de rede

O PERT (Program Evaluation and Review Technique) e o CPM (Critical Path Method) são duas técnicas desenvolvidas de forma independente durante a década de 1950 que buscavam solucionar problemas de gerenciamento de projetos de grande porte. Entretanto, devido às soluções semelhantes encontradas, atualmente são conhecidas simplesmente como técnica PERT/CPM (TUBINO, 2009).

Os diagramas PERT/CPM permitem que sejam indicadas as relações lógicas de precedência (inter-relacionamento) entre as atividades que compõem o projeto, além de determinar o caminho crítico, identificando quais as atividades que não podem sofrer atrasos, de modo que a data de término do projeto não seja alterada (MATTOS, 2010).

De acordo com Mendes Jr. (1999), pode-se citar como vantagens desse método:

- a) Ajuda a determinar a lógica de produção da obra;
- b) Permite a visualização dos desvios no tempo e sua influência no decorrer da obra.

E como desvantagens:

- a) Dificuldade de aplicação da técnica pela variabilidade das durações e falta de precisão na estimativa de atividades e recursos (HEINECK, 1984 *apud* MENDES JR., 1999);
- b) Incompatibilidade com a essência do processo construtivo onde uma sequência detalhada das operações não é tão importante como para outros tipos de indústria (LAUFER e TUCKER, 1987 *apud* MENDES JR., 1999).

2.8 Ferramentas de apoio à programação

2.8.1 EAP / WBS

Assumpção (1996) *apud* Bernardes (2001) define Estrutura Analítica do Projeto (EAP) como uma decomposição da obra em subsistemas, estabelecendo hierarquias entre as atividades que são decompostas. A definição de como será realizada a partição da obra em serviços e atividades deve partir do tipo de empreendimento em análise, das diversas equipes que irão participar do mesmo, do grau de controle que a empresa poderá realizar, bem como da forma pela qual o processo de produção será projetado.

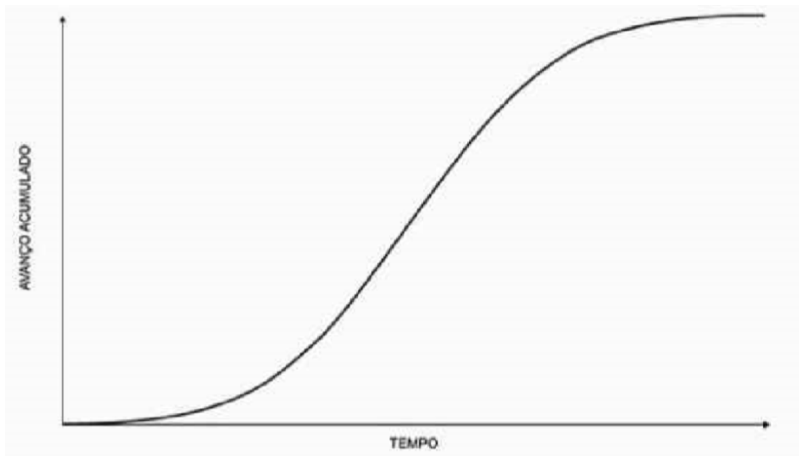
Essa decomposição busca facilitar o estabelecimento de unidades de controle que podem ser utilizadas para o dimensionamento dos pacotes de trabalho, os quais podem ser entendidos como um conjunto de tarefas similares a serem realizadas, frequentemente em uma área bem definida, utilizando informações de projetos específicas, bem como material, mão de obra e equipamento, além de ter seus pré-requisitos completados em tempo hábil a sua execução (CHOO 1999, *apud* BERNARDES 2001).

2.8.2 Curva S

Segundo Mattos (2010), é importante para o planejador e para o gerente do projeto balizar o avanço da obra ao longo do tempo. Como é impraticável somar o andamento das atividades em termos de seus quantitativos devido às diferentes unidades utilizadas (metro linear, metro quadrado, metro cúbico, entre outras), deve-se recorrer a um parâmetro que permita colocar o avanço das atividades em um mesmo referencial, por exemplo, trabalho (homem-hora) ou custo (dinheiro).

A Curva S é uma curva totalizadora, acumulada, da distribuição porcentual, parcial, relativa à alocação de determinado fator de produção ao longo do tempo (LARA, 1996 *apud* MATTOS, 2010). Sua configuração está representada na figura 4 abaixo:

Figura 4 Curva S.



Fonte: (MATTOS, 2010)

- Dentre os benefícios em se trabalhar com a Curva S, destacam-se
- Fácil leitura e permite apresentação rápida da evolução do projeto;
 - Grande aplicabilidade: de projetos simples e pequenos a empreendimentos extensos e complexos;
 - Permite visualizar o parâmetro acumulado (trabalho ou custo) em qualquer instante do projeto;
 - Eficiente ferramenta de controle da produção;
 - Subsidia decisões gerenciais sobre desembolsos e fluxo de caixa;

- f) Permite constatar se há grandes distorções de concentração de atividades durante a obra.

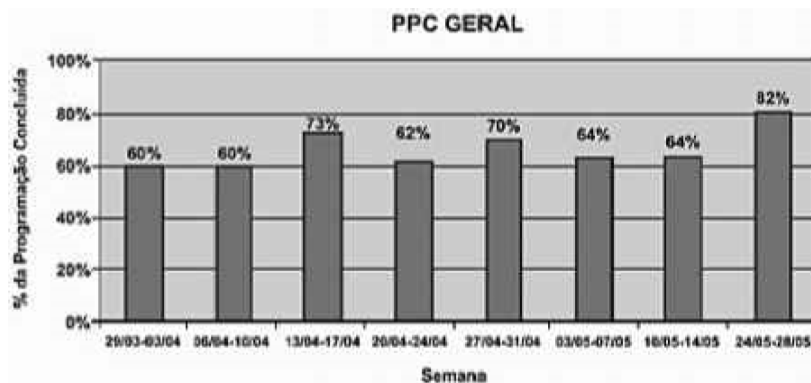
2.8.4 PPC

Eficiente ferramenta de controle e reprogramação de curto prazo do projeto, o Percentual da Programação Concluído (PPC) é o quociente entre a quantidade de tarefas efetivamente executadas e quantidade inicialmente programada para um mesmo período, normalmente quinzenas ou semanas (MATTOS, 2010). O PPC permite visualizar a eficácia do planejamento e verificar a evolução da obra.

De acordo com Mattos (2010), valores muito baixos de PPC podem indicar otimismo excessivo no desempenho das atividades, uso de produtividades muito apertadas na programação e grande incidência de fatores imprevistos (chuvas, absenteísmo, alterações no projeto). Por outro lado, valores elevados de PPC podem representar produtividades muito folgadas e tarefas programadas com duração mais longa do que deveriam ter. É recomendado que os setores de planejamento e de produção da obra se reúnam periodicamente para analisar o percentual cumprido da obra (PPC) e as causas que levaram aos desvios observados. Essa prática reforça a confiança dos membros da obra no planejamento e contribui para a melhoria contínua desse processo.

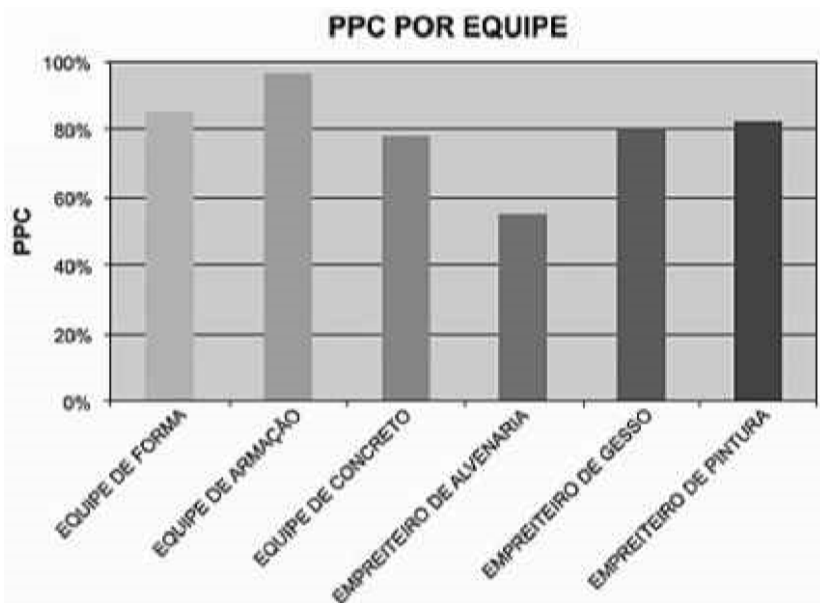
As figuras abaixo ilustram o PPC geral de uma obra (figura 5) e o comportamento por equipe do PPC (figura 6).

Figura 5 Exemplo de PPC geral.



Fonte: (MATTOS, 2010).

Figura 6 Exemplo PPC por equipe.



Fonte: (MATTOS, 2010).

2.9 Efeito aprendido

O efeito aprendido pode ser definido como o decréscimo do montante de trabalho por unidade de produção quando o número de unidades a serem produzidas aumenta (VERSHUREN, 1987 *apud* MARCHIORI, 1998). Em geral, a repetição, a aquisição de habilidade e a familiarização com o projeto são fatores que propiciam esse aumento de produtividade da mão de obra (MARCHIROI, 1998).

Apesar de se configurar como uma ferramenta de auxílio no cálculo de consumo de mão de obra, por questões de simplificação e por não ter uma forma de quantificação precisa do aumento de produtividade gerado no decorrer da repetição das atividades nos diferentes pavimentos tipo, o fenômeno do efeito aprendido não será levado em consideração neste trabalho.

2.10 Linha de balanço (LDB)

2.10.1 Programação de projetos repetitivos

Existem projetos de engenharia cujos determinados serviços ou atividades são repetitivos durante o estágio de execução. Construção de estradas, túneis, conjuntos habitacionais, gasodutos, obras de redes de água ou esgoto e edifícios de múltiplos pavimentos são exemplos de projetos de construção lineares, cujas unidades de construção repetitivas (ou núcleo de atividades repetitivas) podem ser representadas por casas, blocos, anéis, seções, juntas, trechos de tubulação e, no caso específico de edifícios altos, pavimentos tipo ou apartamentos.

Além da repetição, a interdependência entre os processos é uma característica marcante deste tipo de empreendimento. O progresso de praticamente todas as atividades depende de que sua antecessora seja desenvolvida completa e corretamente (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004).

Segundo Mendes Jr. (1999), a natureza repetitiva e a necessidade de aumento de produtividade de projetos de construções lineares, aliados à tendência de padronização de processos na indústria da construção civil, têm impulsionado o desenvolvimento de técnicas e estratégias de planejamento para este tipo de projeto tanto a nível macro (estratégico), quanto a nível micro (operacional). A nível estratégico, é de interesse dos gerentes do empreendimento e dos engenheiros de planejamento a organização do projeto, a sequência de atividades e o controle. Já no nível operacional, os engenheiros da obra e encarregados estão atentos em fazer o necessário para completar as atividades que foram programadas e concluir cada unidade.

De acordo com Arditi (1983) *apud* Branco (2007), os quatro principais objetivos do planejamento e controle dos processos repetitivos são:

- 1) Garantir que unidades completas estejam prontas conforme requerido;
- 2) Manter os ritmos desejados de produção;
- 3) Balancear os recursos ao longo do projeto;
- 4) Reduzir ao máximo o potencial de custos de unidades de construção repetitivas.

2.10.2 Histórico

A técnica de linha de balanço (LDB) foi originalmente desenvolvida nos Estados Unidos, no início da década de 1940 pela empresa Goodyear Tire & Rubber Company (MATTOS, 2010).

Posteriormente, um comitê criado pelo Governo dos EUA com o objetivo de estudar a técnica de LDB (ou LOB, do inglês *line of balance*) propôs a integração dessa com o PERT no controle da produção, sendo depois adaptada para o planejamento de projetos (SCHODERBEK; DIGMAN, 1967 *apud* BRANCO 2007). A popularidade do PERT alavancou a potencialidade da LDB como ferramenta de planejamento e controle, ampliando seu conceito para a construção civil, a indústria de manufatura e o fluxo de operações industriais (MATTOS, 2010).

Lumsden (1968) *apud* Branco (2007), ilustrou o uso da LDB na indústria da construção civil, introduzindo os conceitos de *buffers* (espaços de tempo ociosos entre as atividades), de ritmo natural das atividades e suas implicações nas aberturas de tempos no início ou fim das atividades e a ociosidade de recursos em atividades subsequentes executadas com diferentes ritmos.

2.10.3 A técnica de linha de balanço

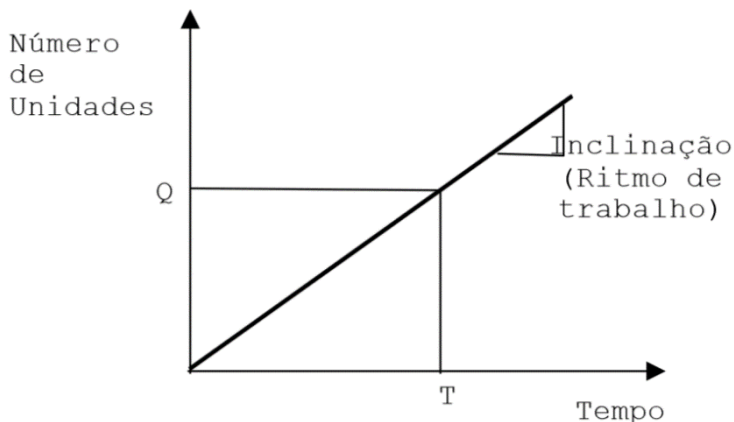
A proposta da Linha de Balanço é planejar, monitorar, e controlar a execução das atividades repetitivas de tal forma que o mínimo tempo de execução seja atingido (CARR e MEYER, 1974 *apud* COELHO, 1998).

A técnica consiste, basicamente, na plotagem das atividades repetitivas do projeto em um gráfico, onde o eixo horizontal traz a escala de tempo e o eixo vertical define os locais e a sequência de execução (COELHO, 1998). Num determinado instante de tempo T haverá uma quantidade Q de unidades concluídas. A Linha de Balanço enfatiza a conclusão requerida de unidades de construção repetitivas (pavimentos, blocos, trechos de adutoras, seções de estradas, etc.) e baseia-se no conhecimento de como certos tipos de processos devem ser concluídos num determinado momento para respeitar o prazo de conclusão programado das unidades (MENDES JR., 1999).

De acordo com Lumsden (1968) *apud* Mendes Jr. (1999), os processos devem ser balanceados num certo ritmo que garanta a conclusão em sequência das unidades, caracterizando a linha de

balanceamento requerida. Como esses ritmos são considerados lineares, desprezando o aumento da produtividade devido ao efeito da curva de aprendizado, então existe uma relação linear entre a quantidade de linha de balanço e o tempo, conforme ilustra a figura 7.

Figura 7 Ritmo de produção definido pela relação unidades x tempo.

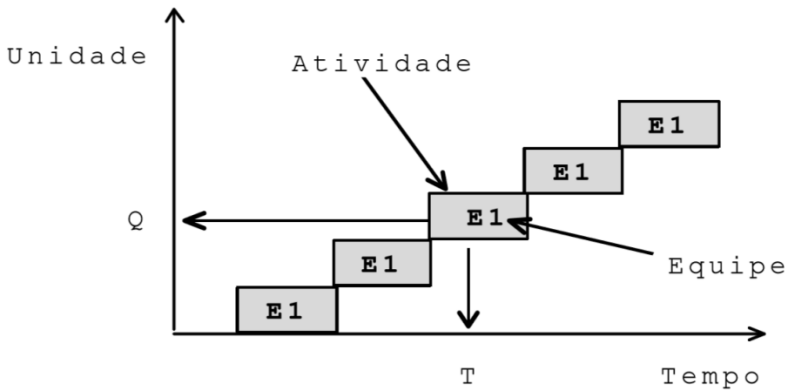


Fonte: (MENDES JR., 1999).

Uma representação mais detalhada da LDB pode ser feita conforme a figura 8 a seguir, respondendo quatro questões centrais na programação de um projeto:

- QUEM? A equipe indicada na célula;
- O QUÊ? Atividade representada pela LDB;
- QUANDO? O instante de tempo T no eixo horizontal do diagrama;
- ONDE? A unidade Q no eixo vertical do diagrama.

Figura 8 Informações do digrama da LDB.



Fonte: (MENDES JR., 1999)

2.10.4 Vantagens e limitações

Para Prado (2002), a grande vantagem da técnica de linha de balanço consiste no seu formato gráfico de fácil interpretação, o qual permite grande agilidade no fluxo de informações, constituindo uma ferramenta importante de comunicação dentro do canteiro.

Além disso, essa técnica permite a visualização dos fluxos de trabalho durante toda a obra, bem como a comparação entre as datas-marco previstas de acordo com o prazo definido para execução do empreendimento, e a evolução real da obra, mostrando rapidamente o que está errado no andamento do projeto e permitindo detectar possíveis gargalos futuros (COSTA; SCHRAMM; FORMOSO, 2004; MENDESJR., 1999).

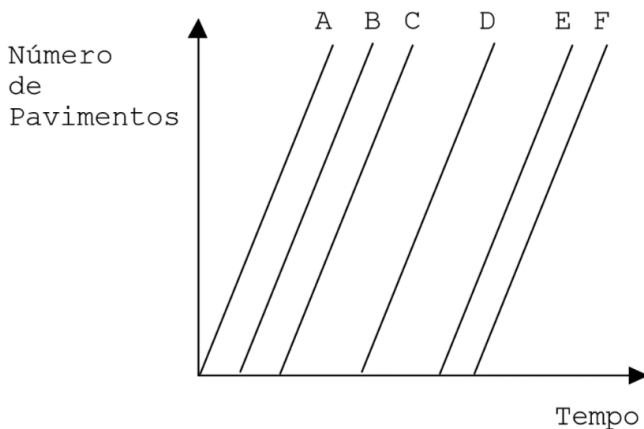
Quanto às limitações, Prado (2002) afirma que a eficácia da LDB está restrita às obras repetitivas, quando a produção das unidades é linear, e ocorre num ritmo constante ao longo do tempo. Outra restrição seria o fato de a metodologia não ser totalmente adequada para programação em computadores, levando a maioria dos programas comerciais de gerenciamento de projetos a ser baseada nas técnicas de rede (MENDES JR, 1999).

2.10.5 Balanceamento das atividades

As técnicas de programação para atividades sequenciais baseadas na Linha de Balanço utilizam o conceito de curvas de produção ou linhas de fluxo. O ritmo de produção de cada processo repetitivo é definido pela inclinação dessas curvas de produção. Essas curvas fornecem também as durações de cada processo, bem como a duração total do projeto (MENDES JR., 1999).

De acordo com Mendes Jr. (1999), chama-se programação paralela a programação na qual todas as atividades são previstas para serem realizadas com ritmos semelhantes, como ilustrado na figura 9.

Figura 9 Representação de programação paralela.



- | | |
|-----------------|--------------------|
| A - Formas | D - Desforma |
| B - Armaduras | E - Descimbramento |
| C - Concretagem | F - Alvenaria |

Fonte: (MENDES JR., 1999)

Porém, segundo Mattos (2010), nem sempre isso é factível do ponto de vista operacional. Na construção de um edifício de muitos andares, por exemplo, pode-se definir um ciclo de 1 semana por pavimento para os principais serviços; porém, tanto alguns serviços muito rápidos podem acabar sendo descaracterizados se forem programados para durar uma semana, quanto outros, por serem mais lentos, precisariam de uma equipe de mão de obra excessivamente numerosa para cumprir a

etapa nesse período, o que pode gerar conflito por espaço, complicações de logística e dificuldade de supervisão.

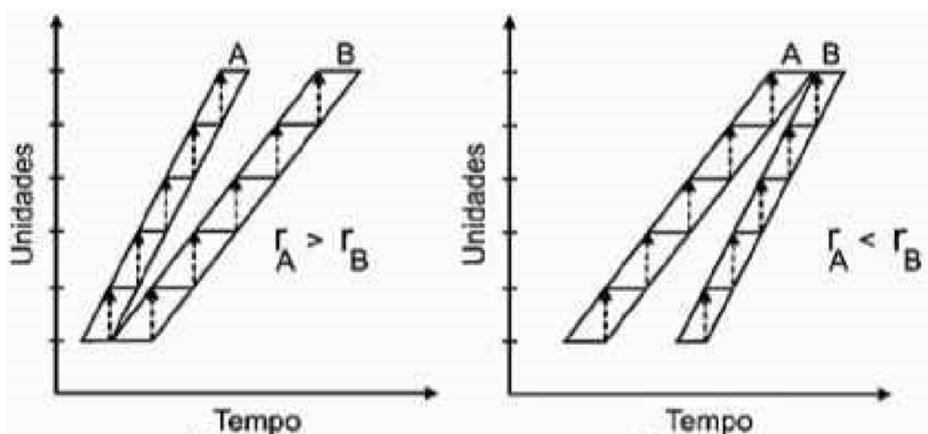
É dessa dificuldade que surge o conceito de balanceamento de atividades, o qual consiste em atribuir a cada operação um ritmo compatível com sua equipe ótima, ou seja, define a declividade ideal de sua linha de balanço (MATTOS, 2010).

Para Mendes Jr (1999), o objetivo do balanceamento é executar todas as atividades continuamente, sem interrupções. Sem esse balanceamento, é certo que as linhas de produção de algumas atividades irão interferir em outras, o que mostra a necessidade de uma análise dessas interferências e de todo o conjunto de processos.

Para traçar as linhas referentes a atividades consecutivas, é preciso comparar o ritmo dessas duas atividades (figura 10):

- Se o ritmo (produtividade) da atividade for maior do que o da sua sucessora, esta poderá ser iniciada, em geral, logo após a primeira unidade da primeira atividade. Dessa forma, as respectivas linhas de balanço serão vinculadas pela base.
- Se o ritmo (produtividade) da atividade for menor que o de sua sucessora, esta não poderá ser iniciada logo após a primeira unidade da primeira atividade, pois haverá sobreposição das linhas mais adiantes. É preciso, assim, dar uma dianteira na atividade inicial, e pode-se dizer que as linhas de balanço serão vinculadas pelo topo.

Figura 10 Ritmo de atividades consecutivas.



Fonte: (MATTOS, 2010)

2.10.6 Roteiro de aplicação

Existem muitas publicações que demonstram roteiros para o cálculo da linha de balanço. Neste trabalho será citado o proposto por Mendes Jr. e Heineck (1997), o qual resume a aplicação da LDB em seis passos:

- 1) Definir as atividades a serem programadas e suas precedências;
- 2) Obter as quantidades de serviço a executar;
- 3) Definir os tamanhos das equipes, a produtividade esperada e as durações das atividades no pavimento tipo;
- 4) Definir o prazo da obra e as datas (marcos) importantes;
- 5) Programar as atividades, considerando uma equipe por atividade;
- 6) Modificar a programação para atender aos objetivos.

A metodologia de aplicação desse roteiro será melhor detalhada durante o capítulo 3, quando o mesmo será utilizado na programação da obra em estudo.

3 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE LDB: ESTUDO DE CASO

3.1 Descrição da empresa

Fundada em 1972 e com certificação nível A no Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), a empresa construtora responsável pelo empreendimento estudado possui vasta experiência na execução de edifícios comerciais e residenciais na região de Florianópolis, estado de Santa Catarina. Prova disso é que em seus quarenta e três anos de atuação, a empresa já entregou mais de cinco mil unidades habitacionais, a maioria de alto padrão.

O financiamento dos empreendimentos é misto, com parte sendo viabilizada com recursos da construtora, e parte por instituições financeiras (bancos).

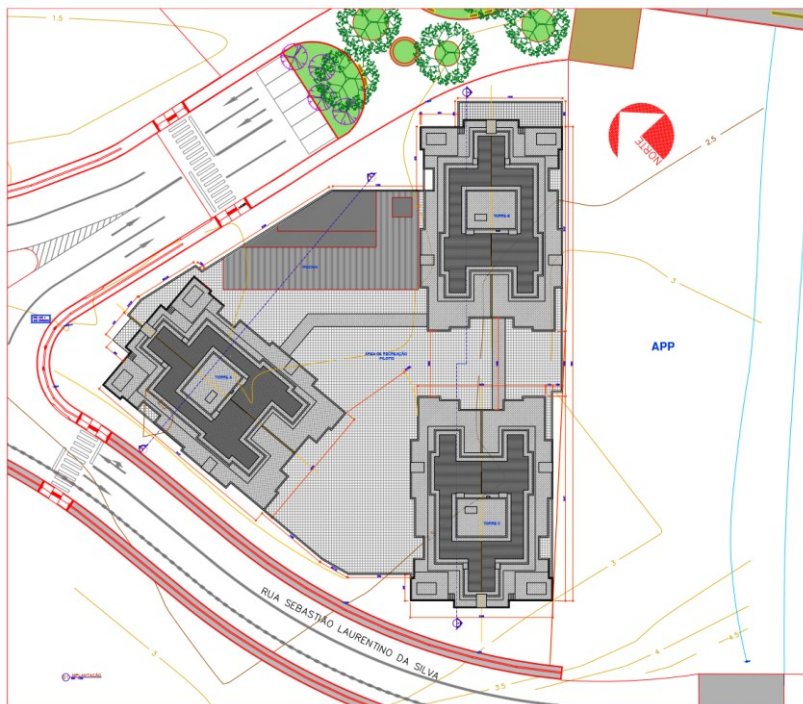
No período de realização do trabalho, a empresa possuía sete obras em andamento, sendo três em acabamento, duas em fase de execução de superestrutura e vedações, e duas, uma delas objeto deste trabalho, em fase de execução de fundações e infraestrutura.

Com exceção dos funcionários que trabalham no escritório em funções técnico-administrativas, e dos engenheiros, técnicos em edificações e almoxarifes, a mão de obra utilizada pela empresa é toda subcontratada. Apesar de não trabalhar com mão de obra própria, existe bom entrosamento entre os funcionários da empresa responsáveis pelo gerenciamento das obras e os funcionários subcontratados. Isso porque as empreiteiras contratadas possuem longo histórico de parceria com a construtora, com baixa rotatividade nas funções chaves da obra, como mestres e encarregados. O mestre de obras do empreendimento estudado, por exemplo, trabalha há onze anos ininterruptos prestando serviço para a construtora.

3.2 Caracterização da obra

A obra em estudo é um condomínio residencial de médio a alto padrão, construído em sistema tradicional racionalizado, localizado no bairro Córrego Grande, região central de Florianópolis.

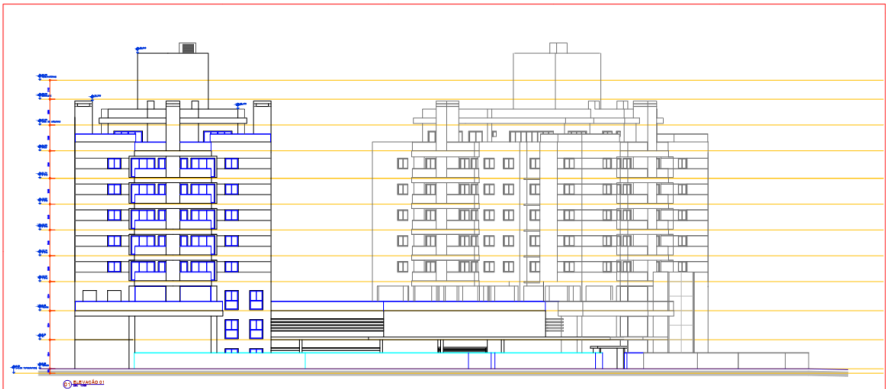
Figura 11 Implantação.



O empreendimento é composto por três blocos, cada um com cinco pavimentos tipo e ático. Os pavimentos tipo dispõe de seis apartamentos, sendo quatro com três dormitórios ($75,93\text{m}^2$) e dois com dois dormitórios ($62,55\text{m}^2$). O ático possui dois apartamentos de três suítes ($109,09\text{m}^2$ cada), totalizando trinta e seis unidades habitacionais.

Além disso, cada bloco contará com pavimento térreo, um pavimento exclusivo de garagem, pilotis e barrilete. Em anexo, são apresentadas as plantas dos pavimentos tipo e ático. Neste trabalho foram consideradas como unidades básicas de repetição os pavimentos tipo e ático.

Figura 12 Elevação 1.

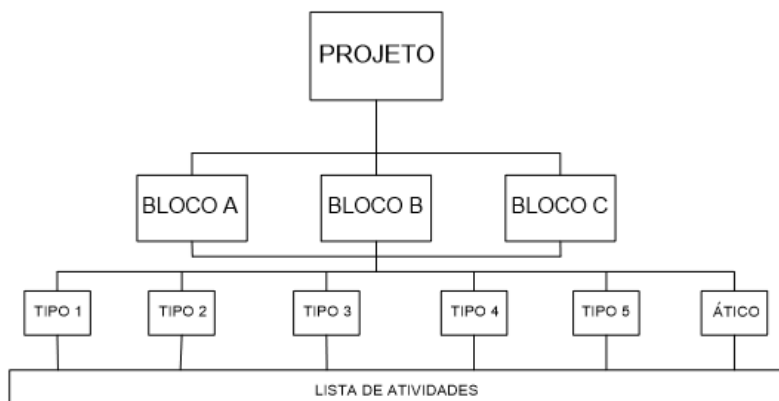


Em particular, o autor do presente Trabalho de Conclusão de Curso fazia estágio nesta obra, quando observou a necessidade da empresa em ter um planejamento detalhado dos serviços a serem executados, o que motivou a elaboração do presente trabalho.

3.3 Identificação das atividades

De acordo com Mattos (2010), a técnica mais apropriada para identificação das atividades de um projeto é a decomposição do seu escopo sob a forma de Estrutura Analítica do Projeto (EAP). Na figura 13, está representada a EAP do projeto analisado. A decomposição foi feita de forma a ficar compatível com o nível de controle desejado, que é referente à programação da execução das atividades em cada pavimento.

Figura 13 EAP do projeto.



Fonte: (Autor).

A tabela 2 expõe as atividades listadas para a programação da obra em estudo, bem como seu sentido de execução e sua(s) precedência(s).

Tabela 2 Lista de atividades e precedências.

Código	ATIVIDADE	Sentido	PRECEDÊNCIA
1	Superestrutura	A	estrutura pilotis
2	Alvenaria e vedações	A	estrutura + 28d
3	Chapisco teto	A	estrutura + 28d
4	Reboco teto	A	chapisco teto +3d
5	Contramarcos	A	alvenaria
7	Tubulação inst. hidro-sanitária	A	alvenaria
8	Infra elétrica	A	alvenaria
9	Inst. Prev. de incêndio	D	alvenaria; Superestrutura completa
10	Chapisco paredes	A	reboco teto
11	Reboco paredes	A	chapisco paredes; tub hidro; infra elétrica
12	Enfição	A	reboco paredes
13	Contrapiso	A	reboco paredes
14	Impermeabilização	A	contrapiso + 28d
15	Massa corrida + 1ª demão de pintura	A	reboco paredes + 28d
16	Forro de gesso	A	Enfição
17	Azulejo	A	forro de gesso; impermeabilização
18	Porcelanato	A	forro de gesso
19	Rejunte	A	azulejo ; porcelanato
20	Vistas e rodapés	A	rejunte; massa corrida
21	Louças	A	rejunte
22	Esquadrias de alumínio	A	azulejo; porcelanato; contramarcos
23	Esquadrias de madeira	A	massa corrida; rejunte
24	Acabamento pintura	A	esquadria de madeira; rodapé
25	Acabamento elétrica	A	enfição; acabamento pintura
26	Acabamento incêndio	A	inst. Prev. de incêndio; acabamento pintura
27	Metais sanitários	A	acabamento pintura
28	Limpeza	A	metais; acabamento elétrica e incêndio

Fonte: (Autor).

3.4 Levantamento de quantitativos e esforços (Hh)

Segundo Mendes Jr. e Heineck (1997), a quantidade de serviços a ser executada numa obra pode ser definida a partir de duas alternativas:

- 1) Levantamentos a partir dos projetos arquitetônico, estrutural, de instalações e complementares;
- 2) Projeção das quantidades de serviços baseando-se em índices que as relacionam com dados geométricos, tais como, área construída do pavimento tipo, comprimentos laterais da torre, número de banheiros, volume de concreto da laje, entre outros.

Ainda de acordo com os autores, apesar de a primeira alternativa ser mais exata, a segunda opção pode ser usada pela rapidez e praticidade que confere a essa etapa do planejamento ou quando não se tem os projetos executivos prontos. A variação no resultado final, traduzido em ritmo de produção, não é crítica, havendo pouca distorção na programação total da obra.

Ressalta-se ainda que um esmero demasiado no levantamento de quantitativos pode ser invalidado pela imprecisão das produtividades das equipes, as quais são, em geral, pobremente estimadas (MENDES JR. e HEINECK, 1997).

De acordo com Prado (2002), na ausência do orçamento do empreendimento, o qual poderia fornecer as quantidades de mão de obra necessárias para a execução dos diferentes serviços, a quantificação se torna um processo laborioso e que consome grande parte do tempo que poderia ser dedicado a diferentes simulações de programação.

Por não ter os projetos executivos nem o orçamento da obra prontos em tempo hábil, a determinação dos esforços (quantidade de homens-hora necessária para a realização de cada atividade) foi feita a partir de índices publicados em trabalhos de outros autores, como: Limeira, Pedroza, Pozzobon e Heineck (1997), Prado (2002) e Solano (2003); bem como a partir de informações disponibilizadas por funcionários da empresa. A tabela 3 a seguir apresenta, para cada atividade, a demanda de homens-hora por metro quadrado construído, bem como o total necessário na construção do pavimento tipo.

A tabela 3 traz a demanda de homens-hora para execução de cada atividade por metro quadrado construído e para um ciclo de unidade de repetição (pavimento tipo) da obra em estudo.

Tabela 3 Quantidade de homem hora demandada.

Código	ATIVIDADE	Hh oficiais / m ² construído	Hh oficiais / pvto
1	Superestrutura	2,21	1395,53
2	Alvenaria e vedações	0,51	320,00
3	Chapisco teto	0,05	31,57
4	Reboco teto	0,24	151,55
5	Contramarcos	0,05	34,73
7	Tubulação inst. hidro-sanitária	0,55	348,21
8	Infra elétrica	0,20	126,29
9	Inst. Prev. de incêndio	0,04	25,26
10	Chapisco paredes	0,14	91,56
11	Reboco paredes	0,20	128,00
12	Enfição	0,24	151,55
13	Contrapiso	0,30	188,04
14	Impermeabilização	0,15	94,72
15	Massa corrida + 1ª demão de pintura	0,81	511,48
16	Forro de gesso	0,15	97,87
17	Azulejo	0,47	296,10
18	Porcelanato	0,30	189,44
19	Rejunte	0,19	119,98
20	Vistas e rodapés	0,06	40,00
21	Louças	0,08	53,67
22	Esquadrias de alumínio	0,18	113,66
23	Esquadrias de madeira	0,05	31,57
24	Acabamento pintura	0,46	290,47
25	Acabamento elétrica	0,06	37,89
26	Acabamento incêndio	0,06	37,89
27	Metais sanitários	0,06	37,89
28	Limpeza	0,10	63,15

Fonte: (Autor).

3.5 Considerações sobre a estratégia de ataque da obra

Com o intuito de facilitar o acesso de fornecedores e a logística de transporte de material dentro do canteiro nas etapas iniciais do projeto, foi feita a opção de atacar a obra executando a estrutura de concreto armado dos blocos B e C de forma intercalada, retardando o início do bloco A. Isso foi feito até a concretagem da terceira laje do bloco C, a partir de quando foi iniciada a superestrutura do bloco A de modo que os três blocos fossem concluídos com o menor intervalo de tempo possível.

A sequência de execução proposta para a obra do estudo de caso pode ser verificada na tabela 4 :

Tabela 4 Sequência de execução dos serviços.

SUPERESTRUTURA	
Pavimento	Sequência de execução das lajes
ÁticoA	18ª
ÁticoC	17ª
ÁticoB	16ª
5A	15ª
5C	14ª
4A	13ª
5B	12ª
3A	11ª
4C	10ª
2A	9ª
4B	8ª
1A	7ª
3C	6ª
3B	5ª
2C	4ª
2B	3ª
1C	2ª
1B	1ª

Fonte: (Autor).

As atividades relacionadas ao revestimento externo da edificação, por não serem executadas de forma separada em cada pavimento, mas sim por panos de fachada, não fazem parte do escopo desse trabalho. As atividades listadas no item anterior têm sentido de execução ascendente, exceto a atividade de instalação preventiva de incêndio, a qual tem sentido descendente por ser iniciada a partir do barrilete.

3.6 Lançamento dos dados na ferramenta computacional utilizada

Com a lista de atividades e a precedência entre elas definidas, o passo seguinte foi passar essas informações para o *MS Project*, o qual foi o programa computacional utilizado para realizar a programação da obra.

As atividades foram divididas em pavimentos, com o local onde cada atividade ocorria representando subprojetos, conforme ilustrado na figura a seguir.

Figura 14 Listagem de atividades no MS Project para a obra estudada.

	Modo da	Nome da tarefa	Duração	Início	Término	Predecessoras
1		PROGRAMAÇÃO EMPREENDIMENTO	425 dias	Ter 01/09/15	Sex 12/05/17	
2		SUPERESTRUTURA	144 dias	Ter 01/09/15	Qua 30/03/16	
3		ÁticoA	8 dias	Sex 18/03/16	Qua 30/03/16	4
4		ÁticoC	8 dias	Ter 08/03/16	Qui 17/03/16	5
5		ÁticoB	8 dias	Qui 25/02/16	Seg 07/03/16	6
6		5A	8 dias	Seg 15/02/16	Qua 24/02/16	7
7		5C	8 dias	Seg 01/02/16	Sex 12/02/16	8
8		4A	8 dias	Qua 20/01/16	Sex 29/01/16	9
9		5B	8 dias	Sex 08/01/16	Ter 19/01/16	10
10		3A	8 dias	Seg 28/12/15	Qui 07/01/16	11
11		4C	8 dias	Ter 15/12/15	Qui 24/12/15	12
12		2A	8 dias	Qui 03/12/15	Seg 14/12/15	13
13		4B	8 dias	Seg 23/11/15	Qua 02/12/15	14
14		1A	8 dias	Qua 11/11/15	Sex 20/11/15	15
15		3C	8 dias	Qui 29/10/15	Ter 10/11/15	16
16		3B	8 dias	Seg 19/10/15	Qua 28/10/15	17
17		2C	8 dias	Ter 06/10/15	Sex 16/10/15	18
18		2B	8 dias	Qui 24/09/15	Seg 05/10/15	19
19		1C	8 dias	Seg 14/09/15	Qua 23/09/15	20
20		1B	8 dias	Ter 01/09/15	Sex 11/09/15	
21		ALVENARIA	162 dias	Sex 23/10/15	Qui 16/06/16	
40		CHAPISCO TETO	36 dias	Ter 22/03/16	Qui 12/05/16	

Fonte: (Autor).

Com o intuito de absorver possíveis imprevistos durante a execução da obra, como absenteísmo, más condições climáticas e atraso de entrega de material por parte dos fornecedores, foi incluída no projeto a atividade “Imprevistos”, a qual tem seu início a partir do término do trabalho nas unidades de repetição (pavimentos), o que ocorre com a conclusão da atividade “Limpeza Final” no pavimento ático no bloco A, e com duração igual a 10 dias úteis.

Como a programação tem como premissa a não ocorrência da mesma atividade em dois pavimentos distintos paralelamente (num mesmo período de tempo), cada pavimento foi considerado como uma atividade predecessora do seu consecutivo, conforme a estratégia de ataque definida.

Para aproximar a programação à realidade da execução no canteiro, no cálculo da jornada produtiva de trabalho foram descontadas horas nas quais observa-se que os operários, apesar de estarem cumprindo a carga horário de trabalho, não estão efetivamente focados no cumprimento de suas tarefas. Isso ocorre nos primeiros minutos do dia (7:00 às 7:15), quando é gasto um tempo para mobilização dos funcionários aos seus postos de trabalho; na pausa destinada ao café da

manhã (8:30 às 8:45), refeição feita no canteiro de obras e durante a jornada oficial; e no fim do dia (16:45 às 17:00), quando é necessário um tempo de desmobilização das equipes (organização e limpeza do canteiro, armazenamento de ferramentas e equipamentos). Com isso, foram descontados quarenta e cinco minutos da jornada diária, conforme explicitado na tabela 5:

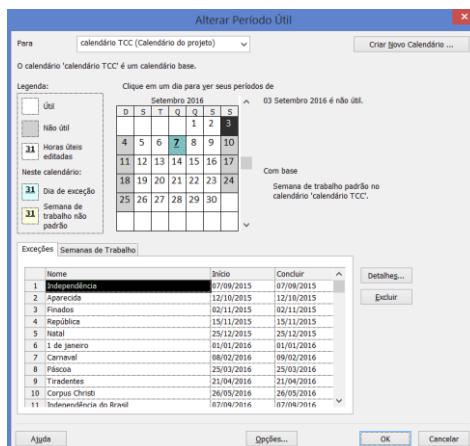
Tabela 5 Carga horária de trabalho adotada.

Carga horária produtiva adotada	
Jornada semanal (horas):	44
Dias trabalhados / semana:	5
Horas de trabalho / dia:	8,8
Mobilização equipes (horas):	0,25
Café da manhã (horas):	0,25
Desmobilização de equipes (horas):	0,25
Horas produtivas / dias (horas):	8,05
Valor adotado (horas):	8
Horas semanais adotada (horas):	40

Fonte: (Autor).

Além disso, foram desconsiderados os finais de semana e feriados nacionais, como ilustrado na figura a seguir:

Figura 15 Calendário do projeto.



Fonte: (Autor).

3.7 Duração das atividades e dimensionamento das equipes de produção

A construtora trabalha, usualmente, com o prazo de vinte e quatro meses para a entrega da obra a partir da conclusão da infraestrutura (baldrame e blocos de coroamento). Logo, para a determinação do tempo disponível para a execução das unidades básicas de repetição (T_u) foi necessário definir o prazo de execução da estrutura de concreto armado dos pavimentos que antecedem as unidades de repetição (pavimentos tipo e ático), que são as lajes dos pavimentos garagem e pilotis. Além disso, foi estimado também um período de tempo para a conclusão dos trabalhos de periferia (T_p), que ocorrem normalmente após a conclusão da torres (playground, jardim, urbanização do passeio público, etc.).

$$T_u = Dt - (T_m + T_p + k)$$

$$Dt = 24 \text{ meses} = 504 \text{ dias úteis}$$

$$T_m = 1,5 \text{ mês} = 32 \text{ dias úteis}$$

$$T_p = 2 \text{ meses} = 42 \text{ dias úteis}$$

$$k \text{ (imprevistos)} = 0,5 \text{ mês} = 10 \text{ dias úteis}$$

$$T_u = 20 \text{ meses} = 420 \text{ dias úteis.}$$

Como no momento de elaboração deste trabalho ainda não havia um cronograma definindo a duração de cada atividade, foram feitas várias simulações de programação no MS Project (sem restrição de recursos humanos, tendo somente o prazo da obra como limitação), com diferentes durações para as atividades (ou tempos de ciclo num pavimento) e fazendo o devido balanceamento entre elas, de modo a determinar durações exequíveis e que ficassem dentro do prazo estabelecido.

O tamanho das equipes e a duração das atividades estão relacionados pela equação abaixo:

$$Ci = \frac{Hh}{E \times J}$$

Na qual,

- Ci = tempo de ciclo da atividade em cada pavimento (dias);

- Hh = quantidade de homem-hora (oficiais) demandada para execução da atividade no pavimento tipo;
- E = tamanho da equipe (número de oficiais envolvidos na atividade);
- J = jornada produtiva de trabalho (horas).

Dispondo do total de homem-hora necessário para execução da atividade (Hh) e da jornada produtiva diária (J), deve-se fixar umas das variáveis restantes: tempo de ciclo (Ci) ou tamanho da equipe (E). Mendes Jr. e Heineck (1997) afirmam que a escolha de qual dos dois valores será fixado depende muito da prática do gerente da obra e da área construída do pavimento.

Diante disso, como a variável de restrição do projeto adotada foi o prazo da obra, neste trabalho optou-se por realizar simulações de programação fixando o tempo de ciclo (Ci) das atividades e em seguida calcular a equipe necessária à execução do serviço com a duração proposta. As diferentes programações geradas no *MS Project* foram comparadas com prazo de execução das unidades básicas de repetição definido (Tr) e foi feito o balanceamento das operações.

4 APRESENTAÇÃO DA LINHA DE BALANÇO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A representação gráfica da linha de balanço do projeto, que é o objetivo principal deste trabalho, encontra-se neste sob a forma de representação de ritmo de execução das atividades, onde foram plotadas as datas de término das atividades em cada pavimento; e, posteriormente, sob a forma de linhas de balanço mensais do projeto, onde é possível ter uma melhor visualização devido à redução de escala de tempo, com a duração de cada atividade sendo representada pela largura das linhas de balanço. A partir destes gráficos é possível obter algumas informações relevantes ao projeto, como:

- Relação de dependência entre as atividades;
- Período de latência (buffers) imposto entre atividades consecutivas devido à diferença de ritmo adotada;
- Quais equipes estão alocadas nos diferentes pavimentos em cada período da obra;
- Comparação, durante a fase de execução da obra, entre o planejado x realizado observando o que está previsto na representação das LDBs com o que se encontra executado na obra.

A seguir, são feitas considerações adicionais sobre a programação gerada.

4.1 Duração das atividades e data de conclusão da obra

Como o tempo de ciclo é constante em todos os pavimentos, a duração total das atividades durante a execução da obra pode ser determinada da seguinte forma:

$$D_i = C_i \times N_i$$

Onde:

D_i = duração da atividade;

C_i = tempo de ciclo da atividade;

N_i = número de pavimentos ($N_i = 18$)

A tabela 6 traz as datas de início e término de cada atividade, bem como sua duração total em dias úteis.

Tabela 6 Duração total das atividades.

Atividade	Ritmo (parimento / dia)	Tempo de ciclo (dias úteis)	Duração	Início	Término
SUPERESTRUTURA	0,125	8	144 dias	Ter 01/09/15	Qua 30/03/16
ALVENARIA	0,111	9	162 dias	Sex 23/10/15	Qui 16/06/16
CHAPISCO TETO	0,500	2	36 dias	Ter 22/03/16	Qui 12/05/16
EMBOÇO TETO	0,200	5	90 dias	Qua 30/03/16	Qui 04/08/16
CONTRAMARCOS	0,250	4	72 dias	Qui 10/03/16	Qua 22/06/16
TUB. HIDRO/SANIT.	0,125	8	144 dias	Ter 01/12/15	Ter 28/06/16
INFRA ELÉTRICA	0,125	8	144 dias	Ter 01/12/15	Ter 28/06/16
INST. PREV. DE INCÊNDIO	0,333	3	54 dias	Sex 24/06/16	Qui 08/09/16
CHAPISCO PAREDES	0,333	3	54 dias	Qua 25/05/16	Ter 09/08/16
EMBOÇOS PAREDES	0,250	4	72 dias	Ter 31/05/16	Qui 08/09/16
ENFIAÇÃO	0,250	4	72 dias	Seg 06/06/16	Qua 14/09/16
CONTRAPISO	0,250	4	72 dias	Seg 06/06/16	Qua 14/09/16
IMPERMEABILIZAÇÃO	0,333	3	54 dias	Sex 12/08/16	Sex 28/10/16
MASSA CORRIDA + 1º DEMÃO PINTURA	0,167	6	108 dias	Seg 06/06/16	Seg 07/11/16
FORRO DE GESSO	0,250	4	72 dias	Sex 10/06/16	Ter 20/09/16
AZULEJO	0,167	6	108 dias	Qua 17/08/16	Qui 19/01/17
PORCELANATO	0,200	5	90 dias	Qua 17/08/16	Seg 26/12/16
REJUNTE	0,333	3	54 dias	Sex 02/12/16	Qua 15/02/17
VISTAS E RODAPÉS	0,250	4	72 dias	Qua 07/12/16	Seg 20/03/17
LOUÇAS	0,333	3	54 dias	Qua 07/12/16	Seg 20/02/17
ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO	0,167	6	108 dias	Qui 25/08/16	Sex 27/01/17
ESQUADRIAS DE MADEIRA	0,333	3	54 dias	Qua 07/12/16	Seg 20/02/17
PINTURA - ACABAMENTO	0,333	3	54 dias	Seg 30/01/17	Ter 18/04/17
ACABAMENTO ELÉTRICA	0,333	3	54 dias	Qui 02/02/17	Seg 24/04/17
ACABAMENTO INCÊNDIO	0,333	3	54 dias	Qui 02/02/17	Seg 24/04/17
METAIS SANITÁRIOS	0,333	3	54 dias	Qui 02/02/17	Seg 24/04/17
LIMPEZA FINAL	0,333	3	54 dias	Ter 07/02/17	Qui 27/04/17

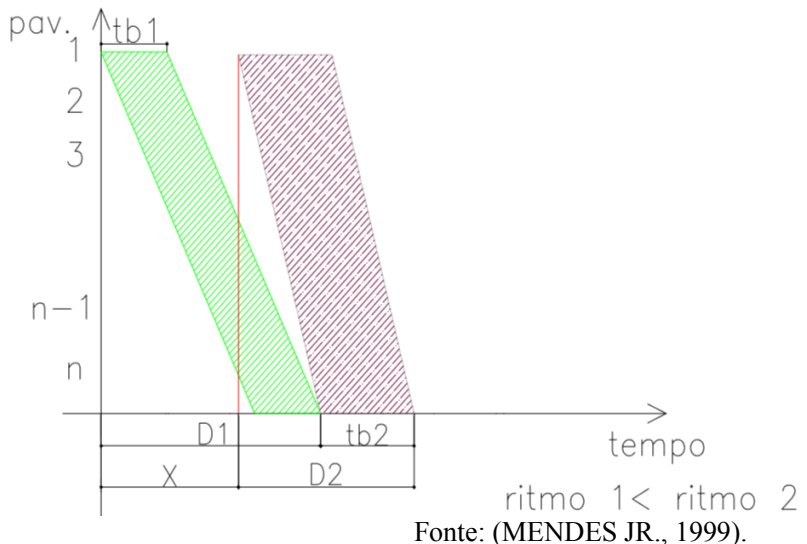
Fonte: (Autor).

4.2 Balanceamento das operações

Devido às diferentes características das atividades que compõem o escopo da programação, não foi possível imprimir a todas elas o mesmo ritmo (o que geraria a programação paralela). Não seria razoável, por exemplo, propor um planejamento no qual as atividades de pintura e instalação de metais sanitários tivessem a mesma duração. A solução foi adotar ritmos variáveis de acordo com a quantidade de homens-hora demandadas para execução de cada atividade.

Como na linha de balanço o planejamento é guiado pelo ritmo de execução dos serviços, para traçar as linhas referentes a atividades consecutivas observou-se o ritmo dessas atividades: nos casos em que o ritmo da atividade é menor do que o da sua sucessora, o vínculo entre as duas se deu pela base, e a atividade pôde ser iniciada desde o primeiro pavimento (pavimento 1 bloco B) imediatamente após a conclusão da que a antecede. Por outro lado, as atividades que têm ritmos de execução maiores do que as suas predecessoras exigem um período de latência para que possa ser iniciada, de modo que não haja interferência entre as duas no decorrer do projeto. A figura 14 ilustra esse processo.

Figura 16 Balanceamento entre atividades.



Exemplo claro disso neste trabalho foi a atividade de execução de contramarcos. Essa atividade tem um ritmo de execução de 0,25 pavimento / dia. Sua predecessora (alvenaria) tem ritmo igual a 0,11 pavimento / dia. Caso a instalação dos contramarcos iniciasse no primeiro pavimento imediatamente após a conclusão da alvenaria, fatalmente a equipe responsável pelos contramarcos “alcançaria” a equipe da alvenaria e haveria interrupção dos serviços, ferindo um dos princípios básicos da linha de balanço, que é a manutenção da produção constante das equipes durante o projeto. O período de espera da equipe responsável pelos contramarcos está ilustrado nas figuras 15 e 16 :

Figura 17 Latência inserida no MS Project para não haver intersecção entre as atividades "contramarcos" e "alvenaria".

☐ ALVENARIA	162 dias	Sex 23/10/15	Qui 16/06/16	
☐ CHAPISCO TETO	36 dias	Ter 22/03/16	Qui 12/05/16	
☐ EMBOÇO TETO	90 dias	Qua 30/03/16	Qui 04/08/16	
☐ CONTRAMARCOS	72 dias	Qui 10/03/16	Qua 22/06/16	
ÁticoA	4 dias	Sex 17/06/16	Qua 22/06/16	22;80
ÁticoC	4 dias	Seg 13/06/16	Qui 16/06/16	23;81
ÁticoB	4 dias	Ter 07/06/16	Sex 10/06/16	24;82
5A	4 dias	Qua 01/06/16	Seg 06/06/16	25;83
5C	4 dias	Qua 25/05/16	Ter 31/05/16	26;84
4A	4 dias	Qui 19/05/16	Ter 24/05/16	27;85
5B	4 dias	Sex 13/05/16	Qua 18/05/16	28;86
3A	4 dias	Seg 09/05/16	Qui 12/05/16	29;87
4C	4 dias	Ter 03/05/16	Sex 06/05/16	30;88
2A	4 dias	Qua 27/04/16	Seg 02/05/16	31;89
4B	4 dias	Qua 20/04/16	Ter 26/04/16	32;90
1A	4 dias	Qui 14/04/16	Ter 19/04/16	33;91
3C	4 dias	Sex 08/04/16	Qua 13/04/16	34;92
3B	4 dias	Seg 04/04/16	Qui 07/04/16	35;93
2C	4 dias	Ter 29/03/16	Sex 01/04/16	36;94
2B	4 dias	Ter 22/03/16	Seg 28/03/16	37;95
1C	4 dias	Qua 16/03/16	Seg 21/03/16	38;96
1B	4 dias	Qui 10/03/16	Ter 15/03/16	39T1+85 dias

Fonte: (Autor).

Figura 18 Representação da latência e das diferenças de ritmo de execução de alvenaria e contramarcos.



Fonte: (Autor).

Analisando as figuras 15 e 16, é possível constatar que foi necessário dar uma “frente” de 85 dias úteis para a equipe de alvenaria, de modo que a equipe responsável pela execução dos contramarcos não a alcance durante a obra, ficando assim sem frente de serviço e gerando ociosidade à mão de obra.

O cálculo dessa latência necessária foi feito conforme a seguir:

PL = período de latência entre as atividades consecutivas;

Tempo de ciclo alvenaria (Ci 1) = 9 dias;

Tempo de ciclo contramarcos (Ci 2) = 4 dias;

N (quantidade de unidades repetitivas) = 18 ;

$$PL = (Ci\ 1 - Ci\ 2) \times (N - 1)$$

$$PL = (9 - 4) \times (18 - 1)$$

$$PL = 85\ dias.$$

Procedimento semelhante foi efetuado para as atividades de chapisco de teto; tubulação hidrossanitária; infra de elétrica; chapisco de paredes; impermeabilização; rejunte; vistas e rodapés; e “acabamento de pintura”, as quais possuem ritmo de execução maior do que a sua atividade predecessora.

4.3 Dimensionamento das equipes de produção

Tendo-se fixado as durações das atividades em cada pavimento (tempo de ciclo), foi montada uma tabela no *Excel* para dimensionar a quantidade de oficiais necessária pra executar a atividade no período de tempo proposto, com base na quantidade de esforços levantada e na jornada de trabalho estabelecida.

A tabela 7 mostra a quantidade de oficiais demandada para cada atividade.

Tabela 7 Equipes de produção adotadas.

Código	ATIVIDADE	Hh oficiais / m ² construído	Tempo de ciclo		Equipe adotada
			Hh oficiais / pvto	(dias /	
1	Superestrutura	2,21	1395,53	8	22
2	Alvenaria e vedações	0,51	320,00	9	4
3	Chapisco teto	0,05	31,57	2	2
4	Reboco teto	0,24	151,55	5	4
5	Contramarcos	0,05	34,73	4	1
7	Tubulação inst. hidro-sanitária	0,55	348,21	8	5
8	Infra elétrica	0,20	126,29	8	2
9	Inst. Prev. de incêndio	0,04	25,26	3	1
10	Chapisco paredes	0,14	91,56	3	1
11	Reboco paredes	0,20	128,00	4	4
12	Enfição	0,24	151,55	4	5
13	Contrapiso	0,30	188,04	4	6
14	Impermeabilização	0,15	94,72	3	4
15	Massa corrida + 1ª demão de pintura	0,81	511,48	6	11
16	Forro de gesso	0,15	97,87	4	3
17	Azulejo	0,47	296,10	6	6
18	Porcelanato	0,30	189,44	5	5
19	Rejunte	0,19	119,98	3	5
20	Vistas e rodapés	0,06	40,00	4	2
21	Louças	0,08	53,67	3	2
22	Esquadrias de alumínio	0,18	113,66	6	3
23	Esquadrias de madeira	0,05	31,57	3	2
24	Acabamento pintura	0,46	290,47	3	12
25	Acabamento elétrica	0,06	37,89	3	2
26	Acabamento incêndio	0,06	37,89	3	2
27	Metais sanitários	0,06	37,89	3	2
28	Limpeza	0,10	63,15	3	3

Horas de trabalho produtivas / dia = 8

Fonte: (Autor).

Analisando a tabela, nota-se que as atividades de “reboco de paredes”, “massa corrida + 1ª demão de pintura” e “acabamento pintura” demandaram equipes consideravelmente grandes. Esse fato pode exigir uma análise mais detalhada de como irão ocorrer os fluxos de trabalho referentes a essas atividades e como os profissionais dessas equipes serão distribuídos durante o ciclo de execução em cada unidade repetitiva.

Com as durações calculadas e a sequência de execução definida conforme anteriormente mostrado, é possível obter o caminho crítico referente à execução de uma unidade básica de repetição. Com ele define-se o tempo de base (T_b), ou seja, o tempo necessário para a execução de uma unidade básica. Neste projeto o tempo de base obtido foi de 114 dias úteis.

A partir dessas informações é possível determinar o tempo de ritmo (T_r) conforme equação abaixo:

$$T_r = Dt - (T_m + T_b + T_p + k)$$

$$Dt = 504 \text{ dias úteis}$$

$$T_m = 32 \text{ dias úteis}$$

$$T_p = 42 \text{ dias úteis}$$

$$k \text{ (imprevistos)} = 10 \text{ dias úteis}$$

$$T_b = 114 \text{ dias úteis}$$

$$T_r = 306 \text{ dias úteis.}$$

O ritmo de execução das unidades repetitivas foi determinado a partir da equação:

$$R = \frac{T_r}{(n - 1)}$$

Onde (n) corresponde ao número de unidades básicas de repetição.

Logo:

$$R = \frac{306}{(18 - 1)}$$

$R = 18$ dias / pavimento, ou

$1/R = 0,056$ pavimento / dia.

Para o dimensionamento das equipes, de acordo com os conceitos de linha de balanço, multiplica-se o valor $(1/R)$ pelo tempo de ciclo da atividade. Exemplo:

Nº de equipes Chapisco paredes = C_i (dias) chapisco paredes x $(1/R)$:

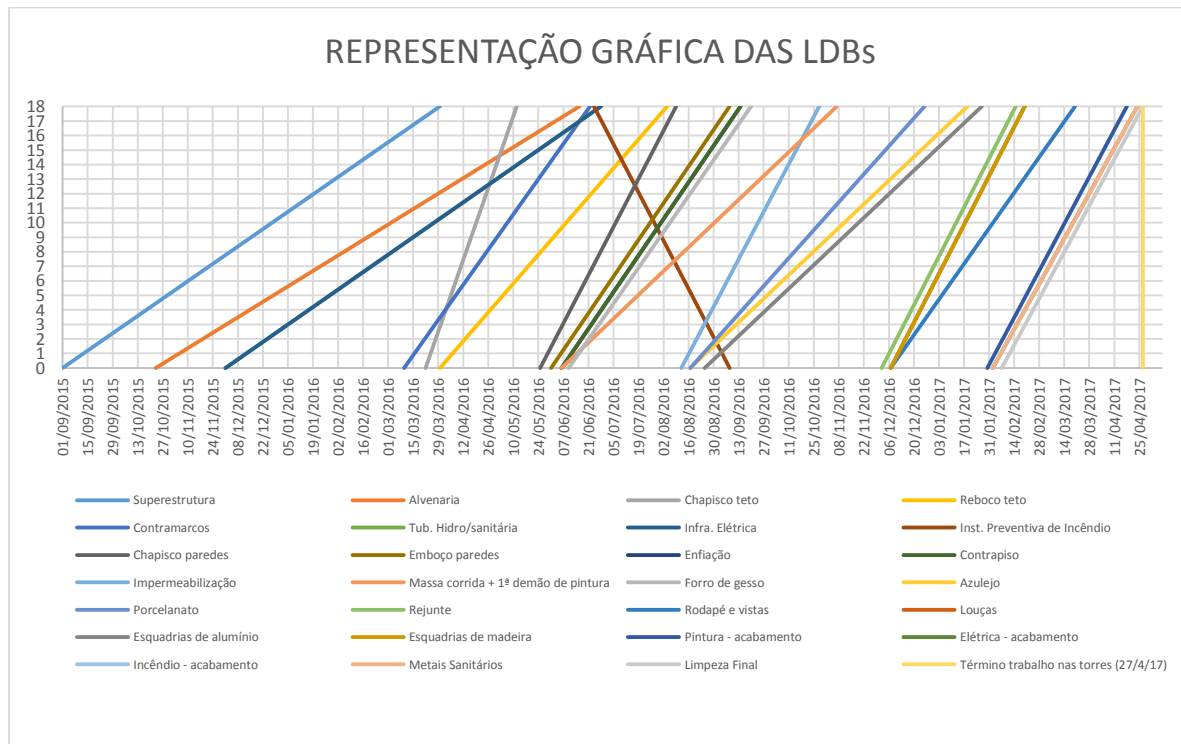
$$N^{\circ} \text{ de equipes Chapisco paredes} = 3 \times 0,056 = 0,17 \text{ equipes.}$$

O número de equipes adotado foi determinado a partir do arredondamento do valor obtido para o número inteiro imediatamente superior. Logo, para a atividade de Chapisco de paredes foi adotada uma equipe.

4.4 Representação gráfica das Linhas de Balanço

Na figura 19 são apresentadas as linhas de balanço das atividades incluídas no escopo deste trabalho sobrepostas, ilustrando o ritmo de execução dos serviços ao longo de toda a obra. A mesma figura pode ser visualizada em maior escala no anexo 1.

Figura 19 Representação gráfica de LDB para todo o projeto.



É possível observar que as atividades “Tubulação hidrossanitária” e “Infra de Elétrica” encontram-se sobrepostas no gráfico. Isso indica que as atividades ocorrerão de forma simultânea durante todo o projeto, tendo a mesma data de início (01/12/15) e término (28/06/16); e mesmo ritmo de execução (0,125 pavimento / dia, ou 8 dias úteis / pavimento). A programação foi proposta dessa forma uma vez que ambas as atividades possuem mesma predecessora: alvenaria; e sucessora: reboco de paredes. Situação semelhante ocorre com as atividades “Metais Sanitários”, “Acabamento Inst. Preventiva de Incêndio” e “Acabamento Inst. Elétrica”.

Conclui-se também que o período de maior concentração de atividades ocorrendo simultaneamente nas torres (blocos), é entre os meses de maio de 2016 e agosto 2016, quando haverá necessidade de dimensionar a estrutura do canteiro de obras de modo a abrigar as várias equipes.

A seguir, são expostas as linhas de balanço para cada mês da obra, sendo a duração das atividades determinada pela largura da linha, o local onde ocorre pode ser verificado no eixo vertical à esquerda, e as datas no eixo horizontal na parte superior.

Figura 20 LDB Setembro 2015.

LINHA DE BALANÇO MENSAL	LAJE	PAVIMENTO	SETEMBRO, 2015 (dias Úteis)																											
			1	2	3	4	8	9	10	11	14	15	16	17	18	21	22	23	24	25	28	29	30							
	18	ÁticoA																												
	17	ÁticoC																												
	16	ÁticoB																												
	15	5A																												
	14	5C																												
	13	4A																												
	12	5B																												
	11	3A																												
	10	4C																												
	9	2A																												
	8	4B																												
	7	1A																												
	6	3C																												
	5	3B																												
	4	2C																												
	3	2B																												
	2	1C																												
	1	1B																												

LEGENDA:

 SUPERESTRUTURA


Figura 21 LDB Outubro de 2015.

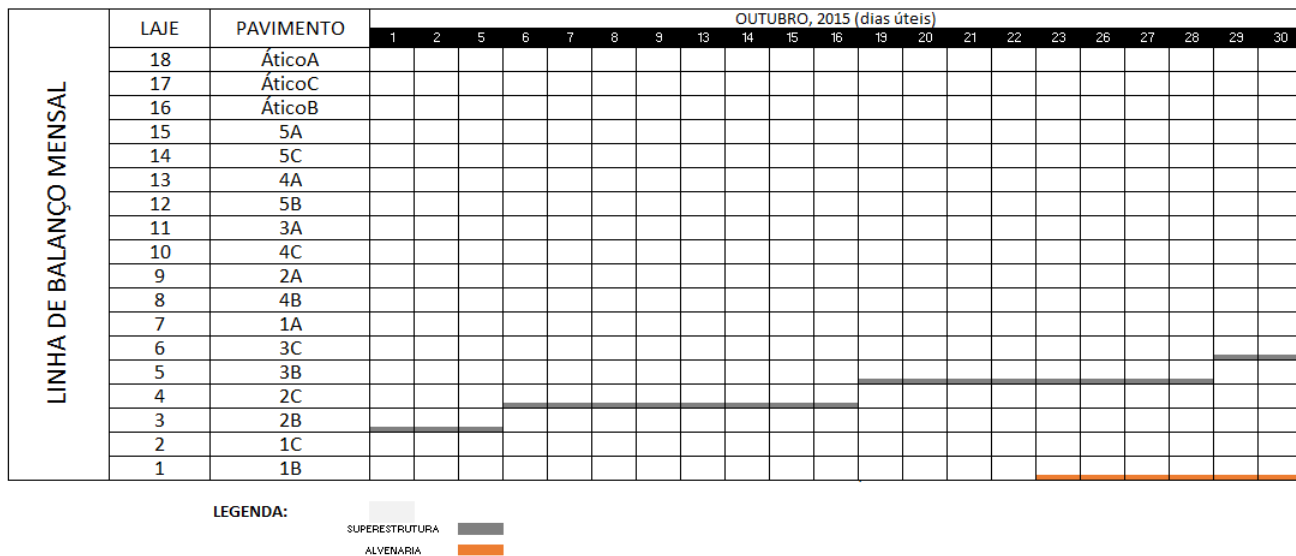
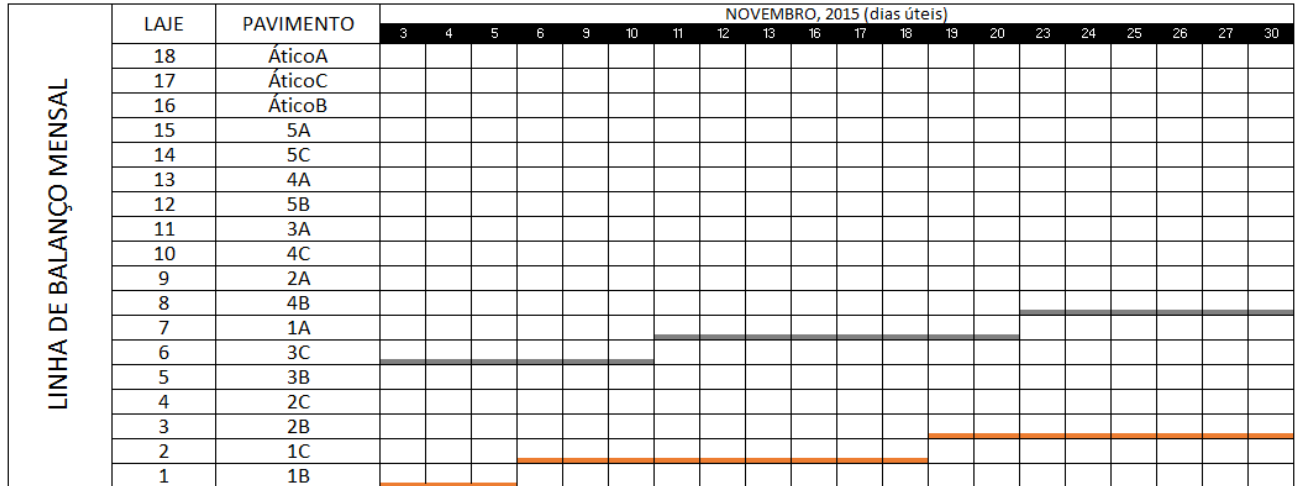


Figura 22 LDB Novembro de 2015.



LEGENDA:



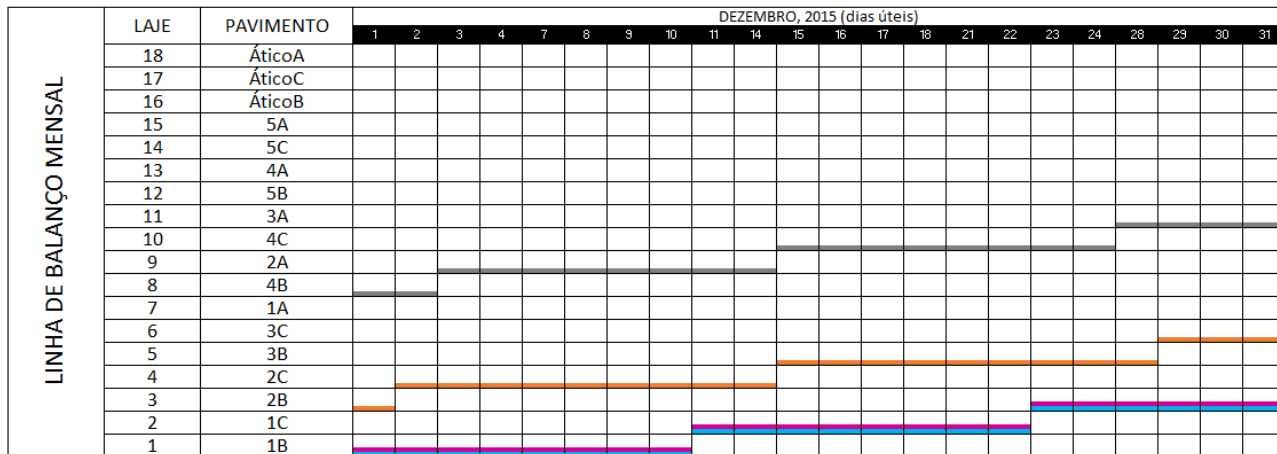
 SUPERESTRUTURA
 ALVENARIA

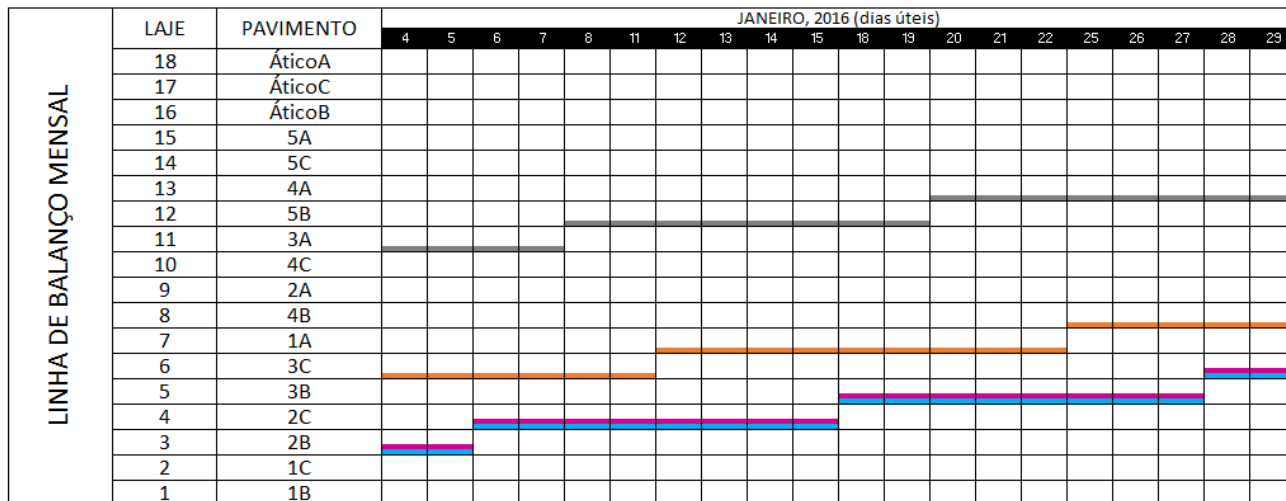
Figura 23 LDB Dezembro de 2015.



LEGENDA:



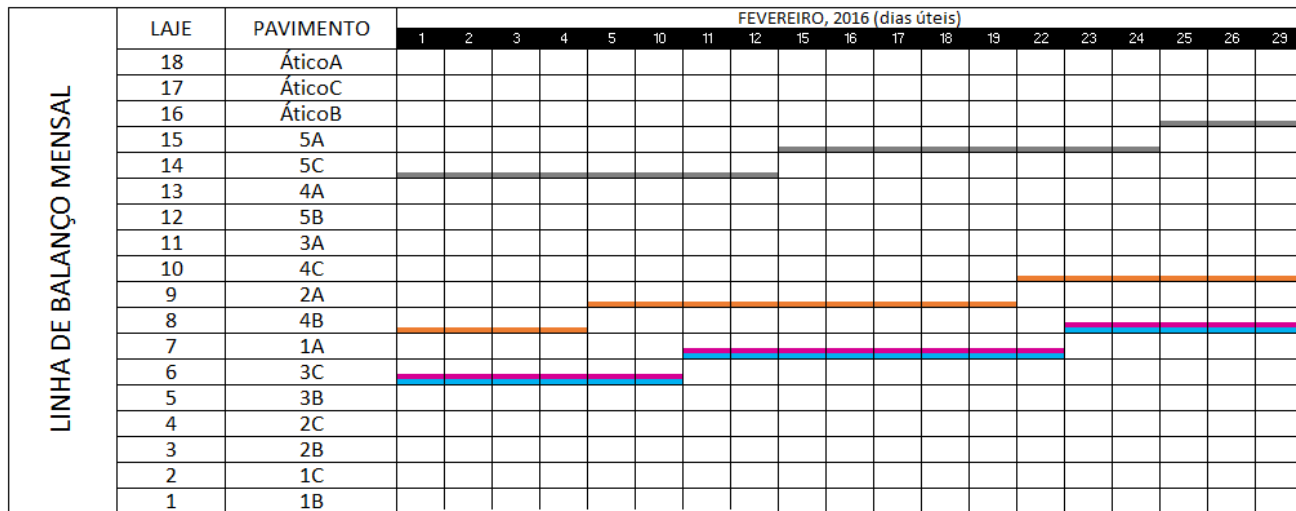
Figura 24 LDB Janeiro de 2016.



LEGENDA:

SUPERESTRUTURA	■
ALVENARIA	■
TUB. HIDRO/SANIT.	■
INFRA. ELÉTRICA	■

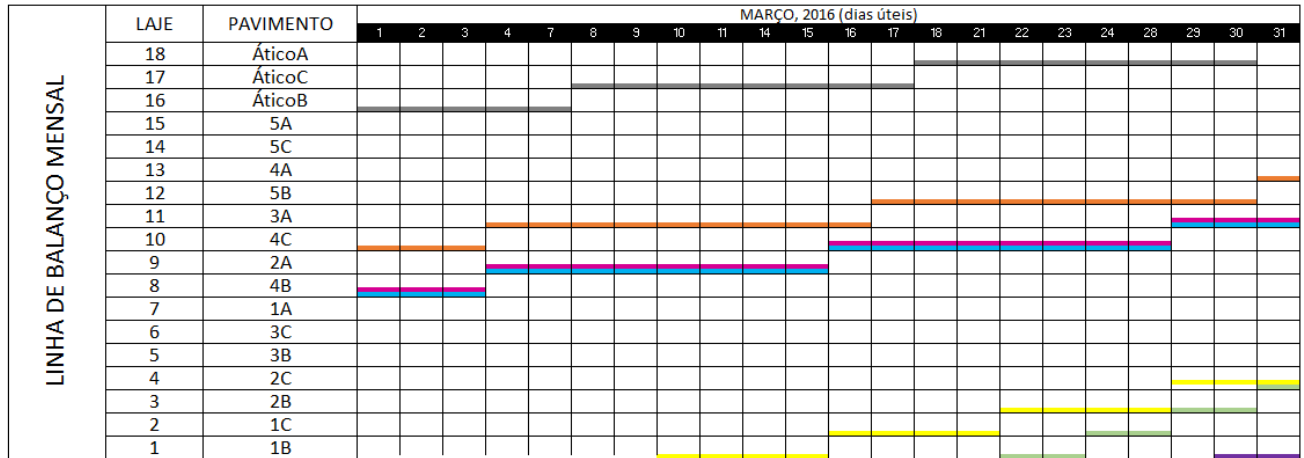
Figura 25 LDB Fevereiro de 2016.



LEGENDA:

SUPERESTRUTURA	
SUPERESTRUTURA	
TUB. HIDRO/SANIT.	
INFRA. ELÉTRICA	

Figura 26 LDB Março de 2016.

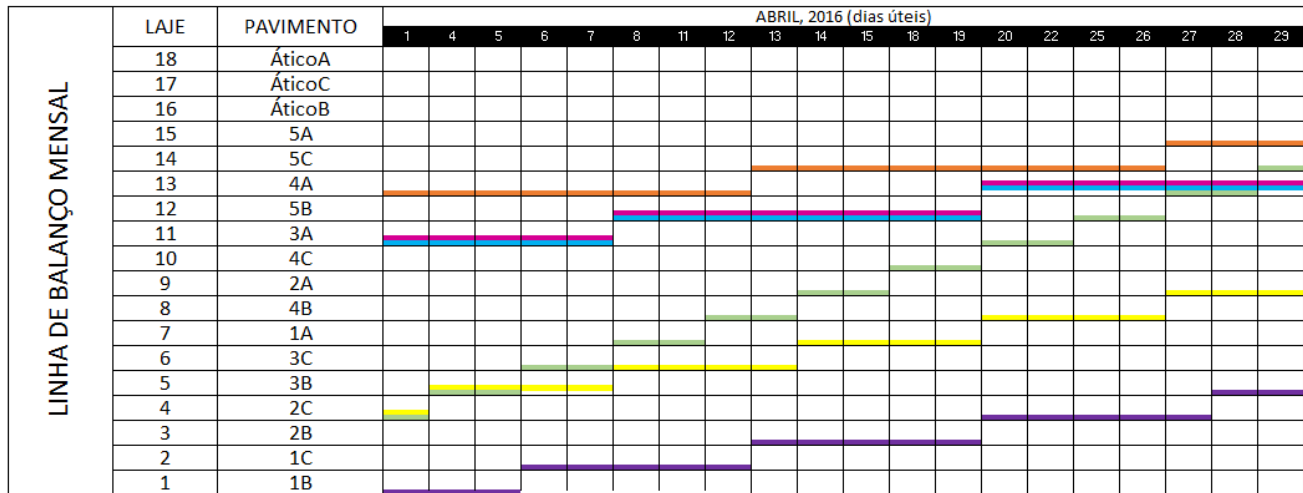


LEGENDA:

SUPERESTRUTURA
 ALVENARIA
 CHAPISCO TETO
 REBOCO TETO
 CONTRAMARCOS
 TUB. HIDROISAMT.
 INFRA. ELÉTRICA



Figura 27 LDB Abril de 2016.



LEGENDA:



Figura 28 LDB Maio de 2016.

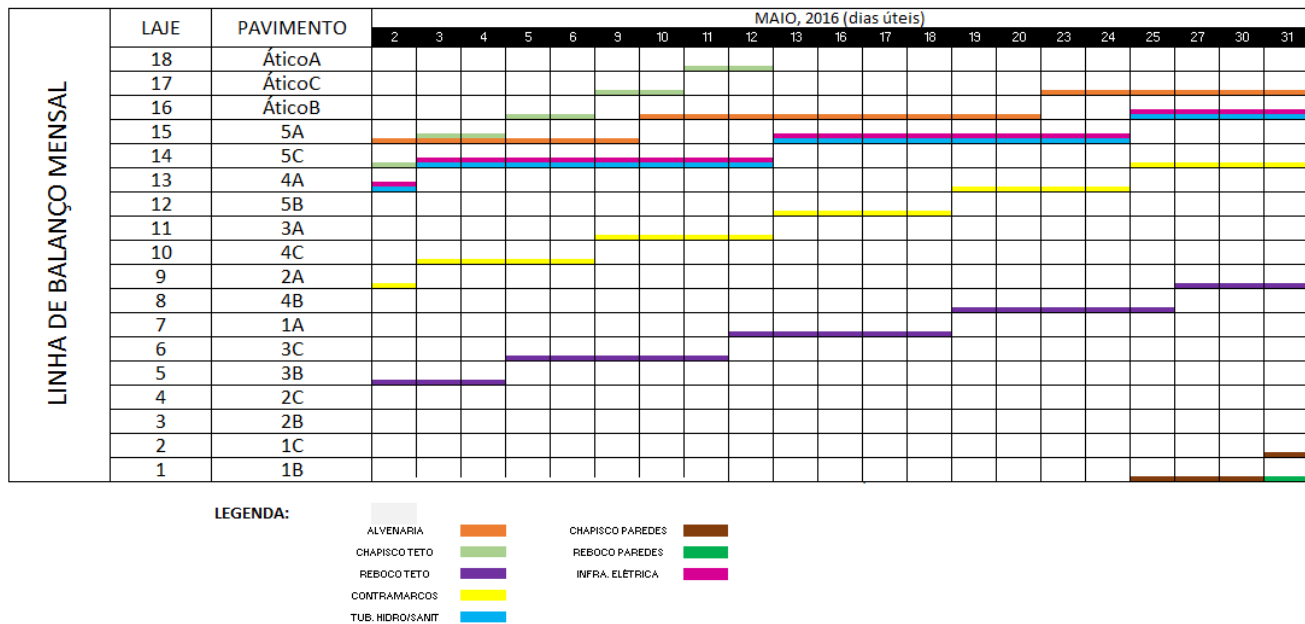
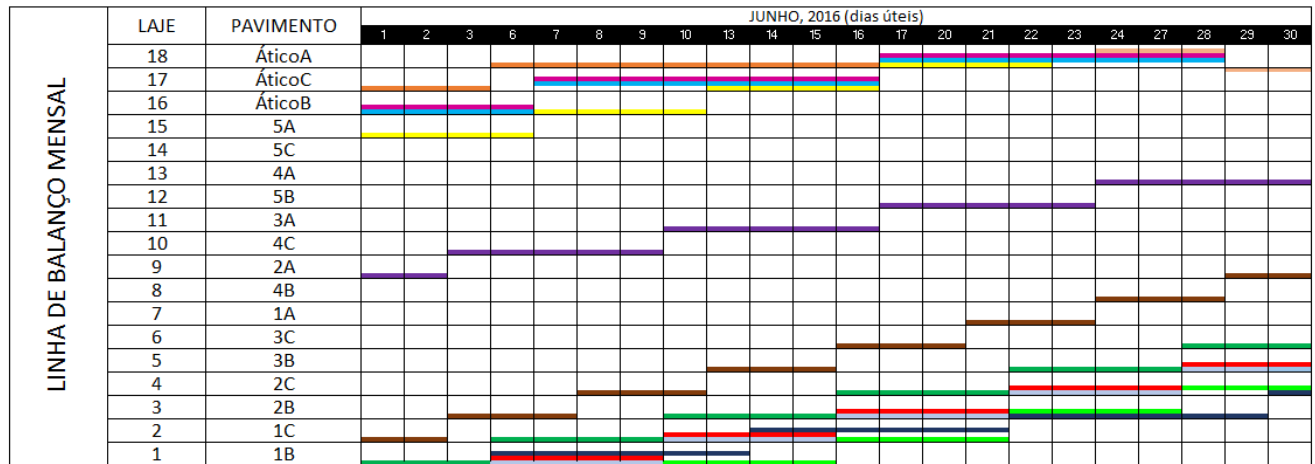


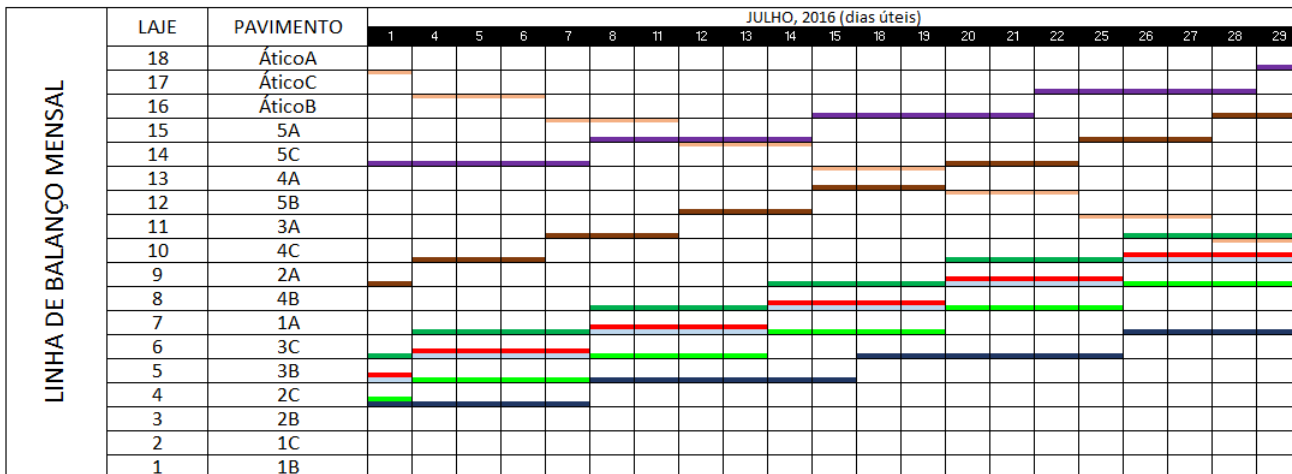
Figura 29 LDB Junho de 2016.



LEGENDA:

ALVENARIA		INST. PREVENTIVA		MASSA CORRIDA	
REBOCO TETO		CHAPISCO PAREDES		FORRO DE GESSO	
CONTRAMARCOS		REBOCO PAREDES			
TUB. HIDRO/SANIT.		ENFIANÇA			
INFRA. ELÉTRICA		CONTRAPISO			

Figura 30 LDB Julho de 2016.



LEGENDA:

REBOCO TETO

CONTRAPISO

INST. PREVENTIVA

CHAPISCO PAREDES

REBOCO PAREDES



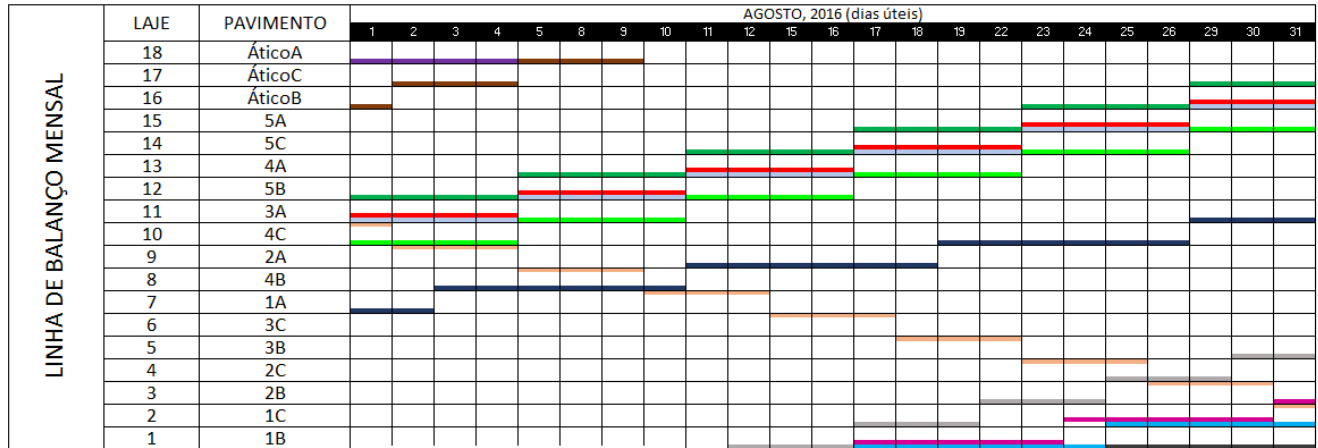
ENFIAÇÃO

MASSA CORRIDA

FORRO DE GESSO



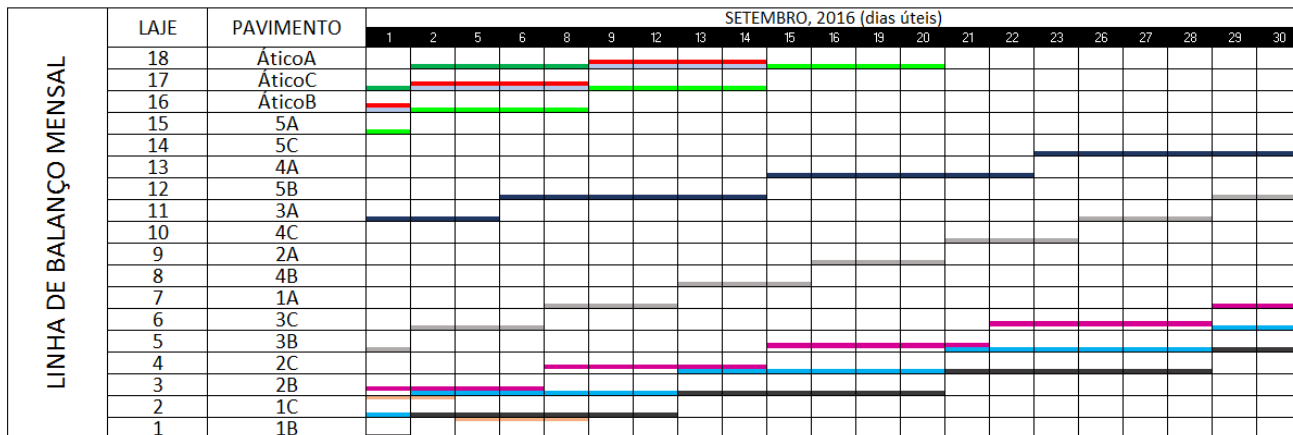
Figura 31 LDB Agosto de 2016.



LEGENDA:

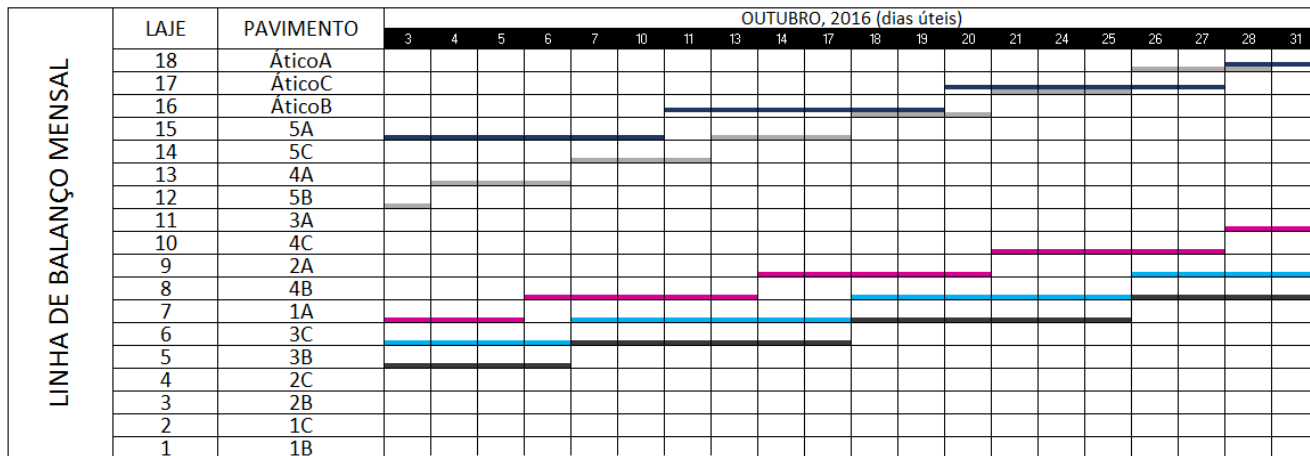
REBOCO TETO			ENFIÇÃO		PORCELANATO	
IMPERMEABILIZAÇÃO			CONTRAPISO		ESQUADRIAS ALUMÍNIO	
INST. PREVENTIVA			MASSA CORRIDA			
CHAPISCO PAREDES			FORRO DE GESSO			
REBOCO PAREDES			AZULEJO			

Figura 32 LDB Setembro de 2016.

**LEGENDA:**

INST. PREVENTIVA		MASSA CORRIDA	
INST. PREVENTIVA		FORRO DE GESSO	
ENFIAÇÃO		AZULEJO	
CONTRAPISO		PORCELANATO	
IMPERMEABILIZAÇÃO		ESQUADRIAS ALUMÍNIO	

Figura 33 LDB Outubro de 2016.



LEGENDA:



Figura 34 LDB Novembro de 2016.

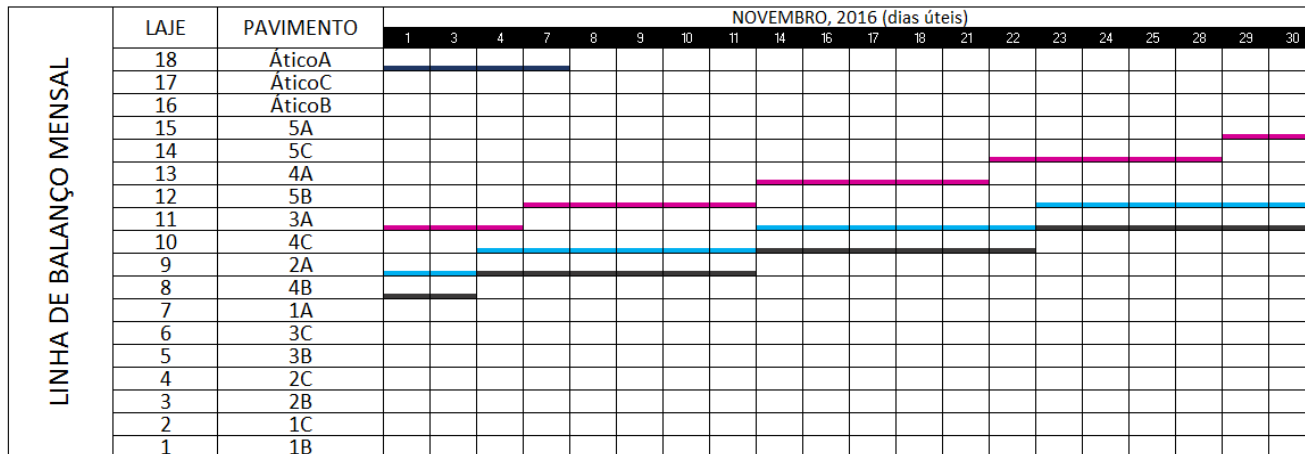
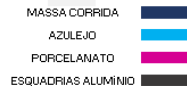
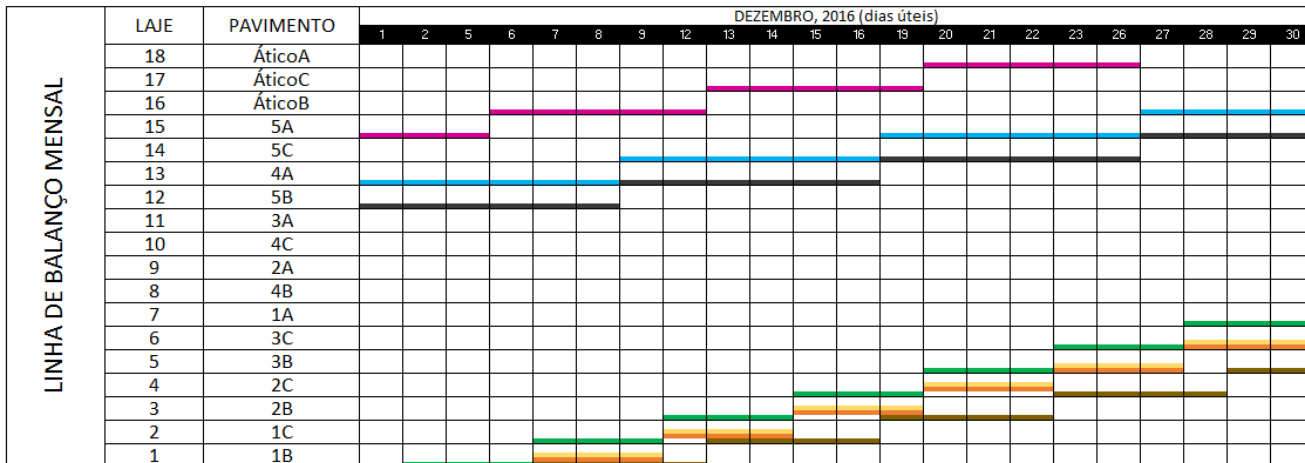
**LEGENDA:**

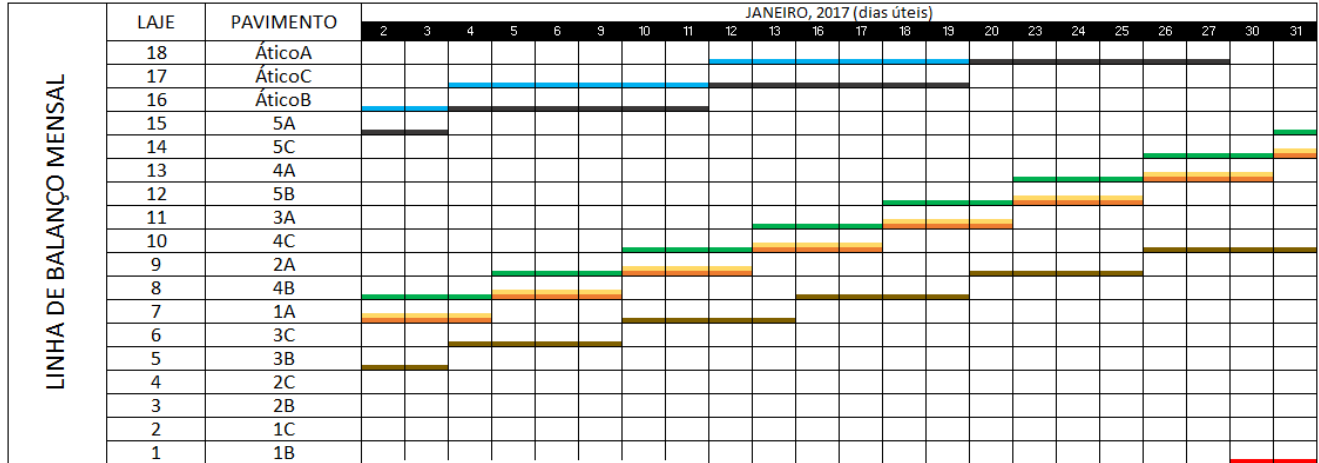
Figura 35 LDB Dezembro de 2016.



LEGENDA:



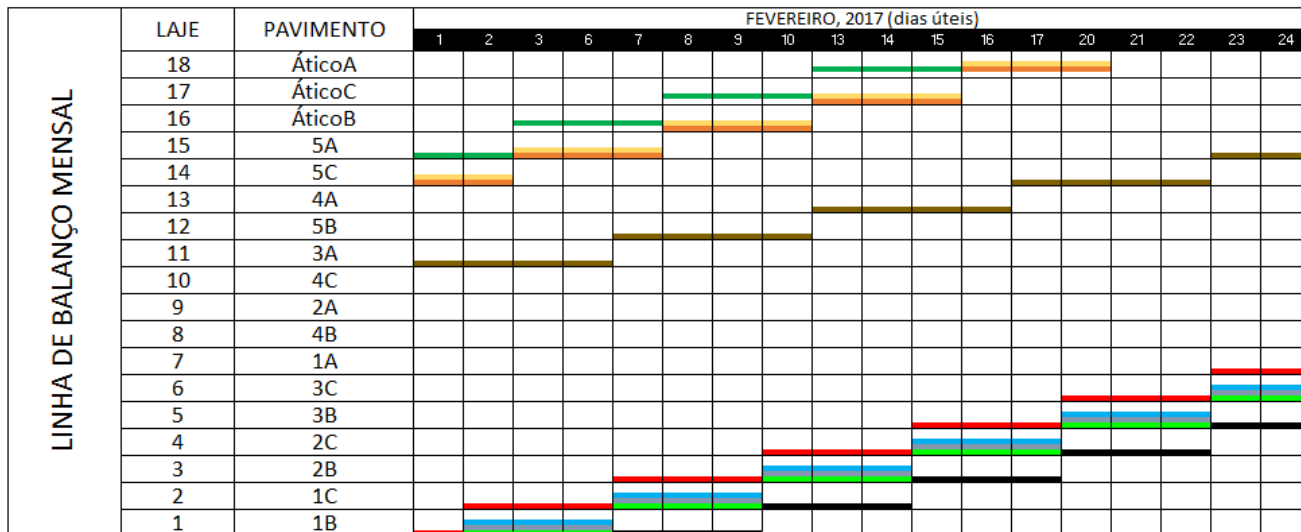
Figura 36 LDB Janeiro de 2017.



LEGENDA:

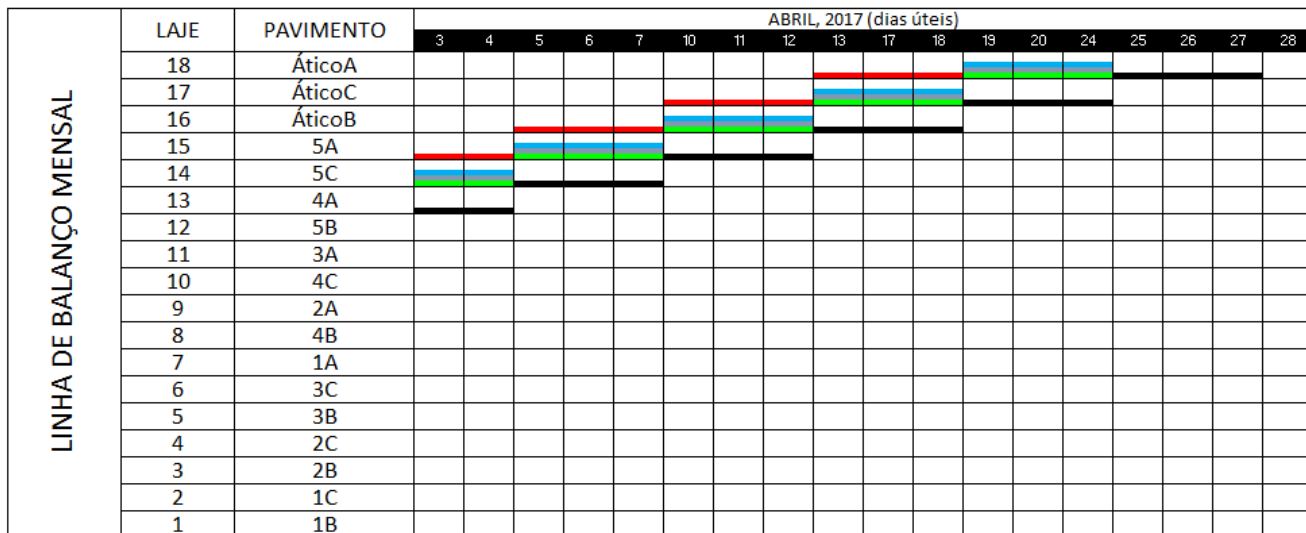
AZULEJO		ESQUADRIAS MADEIRA	
REJUNTE		PINTURA	
VISTAS E RODAPÉS			
LOUÇAS			
ESQUADRIAS ALUMÍNIO			

Figura 37 LDB Fevereiro de 2017.

**LEGENDA:**

	PINTURA		REJUNTE		VISTAS E RODAPÉS		LOUÇAS		ESQUADRIAS MADEIRA
	ACAB. ELÉTRICA		ACAB. INCÊNDIO		METAIS SANIT.		LIMPEZA FINAL		ACAB. ELÉTRICA

Figura 39 LDB Abril de 2017.



LEGENDA:

PINTURA		
ACAB. ELÉTRICA		
ACAB. INCÊNDIO		
METAIS SAMIT.		
LIMPEZA FINAL		

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo deste trabalho foi simular a programação de uma obra de edificação residencial com múltiplos pavimentos utilizando a técnica de linha de balanço. Diante disso, procurou-se desmembrar o projeto estudado em unidades básicas de repetição, identificar as atividades que o compõem, e dimensionar as equipes de produção de modo a imprimir a essas atividades ritmos de execução capazes de concluir o projeto dentro do prazo pré-estabelecido e de forma que não haja quebra de ritmo causada por ausência de frente de trabalho. Sendo assim, pode-se dizer que o resultado final do trabalho, com a representação das linhas de balanço e a programação gerada com data de término dentro do prazo, atingiu os objetivos iniciais propostos.

Foi observado que a LDB se configura como uma ferramenta eficiente na programação de edifícios de múltiplos pavimentos, em especial nos casos em que há uma rede de atividades simples, com poucas atividades ocorrendo em paralelo, o que dá sentido à determinação e balanceamento dos ritmos de produção.

As principais dificuldades encontradas durante o processo de programação foi a ausência de dados disponíveis a respeito da produtividade das equipes de trabalho, bem como a impossibilidade de representar as atividades referentes ao revestimento de fachadas do modo como foi feito para as atividades repetitivas.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como continuidade ao trabalho, sugere-se dar continuidade ao processo de planejamento do projeto, realizando o controle da programação a partir da avaliação do Percentual da Programação Concluído (PPC). Além disso, seria altamente recomendável realizar um levantamento da produtividade das equipes, uma vez que os valores utilizados no trabalho foram estimados a partir de outras publicações. Uma alternativa seria acompanhar a execução do primeiro pavimento tipo, analisar a produção das equipes, e fazer a reprogramação do projeto com os valores levantados. Além de aumentar a precisão da programação dessa obra, as informações coletadas poderiam alimentar um futuro banco de dados da empresa, o que ao longo dos anos poderá vir a ser um subsídio importante no planejamento dos seus empreendimentos.

Um outro estudo que poderia vir a ser interessante seria a análise de como a sequência de execução da obra proposta neste trabalho impactará a logística dentro do canteiro, em que condições será feito o transporte dos materiais; e como o tamanho adotado das equipes impactará no layout do canteiro.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BRANCO, T. B. **Análise do ritmo de produção e nivelamento dos recursos na etapa de planejamento – utilização da técnica de linhas de balanço em empreendimentos habitacionais repetitivos.** Dissertação de Mestrado. UNICAMP. Campinas, 2007.

COELHO, R. de Q. **Programação de obras repetitivas com o software de gerenciamento de projetos Time Line 6.5 for Windows baseada na técnica de linha de balanço – estudo de caso.** Dissertação de Mestrado. UFSC. Florianópolis, 1998

CONTAS NACIONAIS / IBGE. Disponível em: http://www.pdp.gov.br/Relatorios%20de%20Programas/Constru%C3%A7%C3%A3o%20Civil_Desempenho.pdf

HEINECK, L. F. M. **Dados básicos para a programação de edifícios altos por linha de balanço.** In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil, 1996, Florianópolis. p.167 – 173.

FILHO, M. K. **Diretrizes para a programação de recursos em obras de curto prazo.** Trabalho de conclusão de Mestrado Profissional. UFRGS. Porto Alegre, 2003.

FILHO, J. I. P.; ROCHA, R. A.; SILVA, L. M. **Planejamento e controle da produção na construção civil para gerenciamento de custos.** In: XXIV Encontro Nacional de Eng. De Produção, Florianópolis, 2004. p. 643-650.

LANTELME, E.; TZORTZOPOULOS, P.; FORMOSO, C. **Indicadores de planejamento e controle da produção.** NORIE/UFRGS/CNPq. Porto Alegre, 2001.

LIMEIRA, U. R.; PEDROSA, A. M. N.; POZZOBON, C. E.; HEINECK, L. F. M. **Efeito de escala em obras de construção civil.** In: Workshop – Tendência Relativas à Gestão da Qualidade na Construção de Edifícios, 1997, São Paulo, 1997. v.1. p.22-24.

LOSSO, I. R. **Utilização das características geométricas da edificação na elaboração de estimativas preliminares de custo: estudo**

de caso de uma empresa de construção. Dissertação de Mestrado. UFSC. Florianópolis. 1995.

MARCHESAN, P. R. C. **Modelo integrado de gestão de custos e controle da produção para obras civis.** Dissertação de Mestrado. UFRGS. Porto Alegre, 2001.

MARCHIROI, F. F. **Estudo da produtividade e da descontinuidade no processo produtivo da construção civil: um estudo de caso para edifícios altos.** Dissertação de Mestrado. UFSC. Florianópolis, 1998.

MATTOS, Aldo Dórea, **Planejamento e controle de obras.** São Paulo: Editora PINI Ltda, 2010.

MATTOS, Aldo Dórea, **Como preparar orçamentos de obras.** 1ªed. São Paulo: Pini, 2006.

MENDES JR., R. **Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos.** Tese de Doutorado. UFSC. Florianópolis, 1999.

MENDES JR., R.; HEINECK, L. F. M.. **Roteiro para programação da produção com linha de balanço em edifícios altos.** In: XVII ENEGEP - 3rd International Congress Of Industrial Engineering, 1997, Gramado, 1997.

MORAES, R. M. de M. **Procedimentos para o processo de planejamento da construção: estudo de caso.** Dissertação de Mestrado. UFSCar. São Carlos, 2007.

PMI – PROJECT MAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (GUIA PMBOK),** 5ªed. São Paulo: Saraiva.

PRADO, R. L. **Aplicação e acompanhamento da programação de obras em edifícios de múltiplos pavimentos utilizando a técnica da linha de balanço.** Dissertação de Mestrado. UFSC. Florianópolis, 2002.

SOARES, A. C. **Diretrizes para manutenção e o aperfeiçoamento do processo de planejamento e controle da produção em empresas construtoras.** Trabalho de Conclusão de Mestrado Profissional. UFRGS. Porto Alegre, 2003.

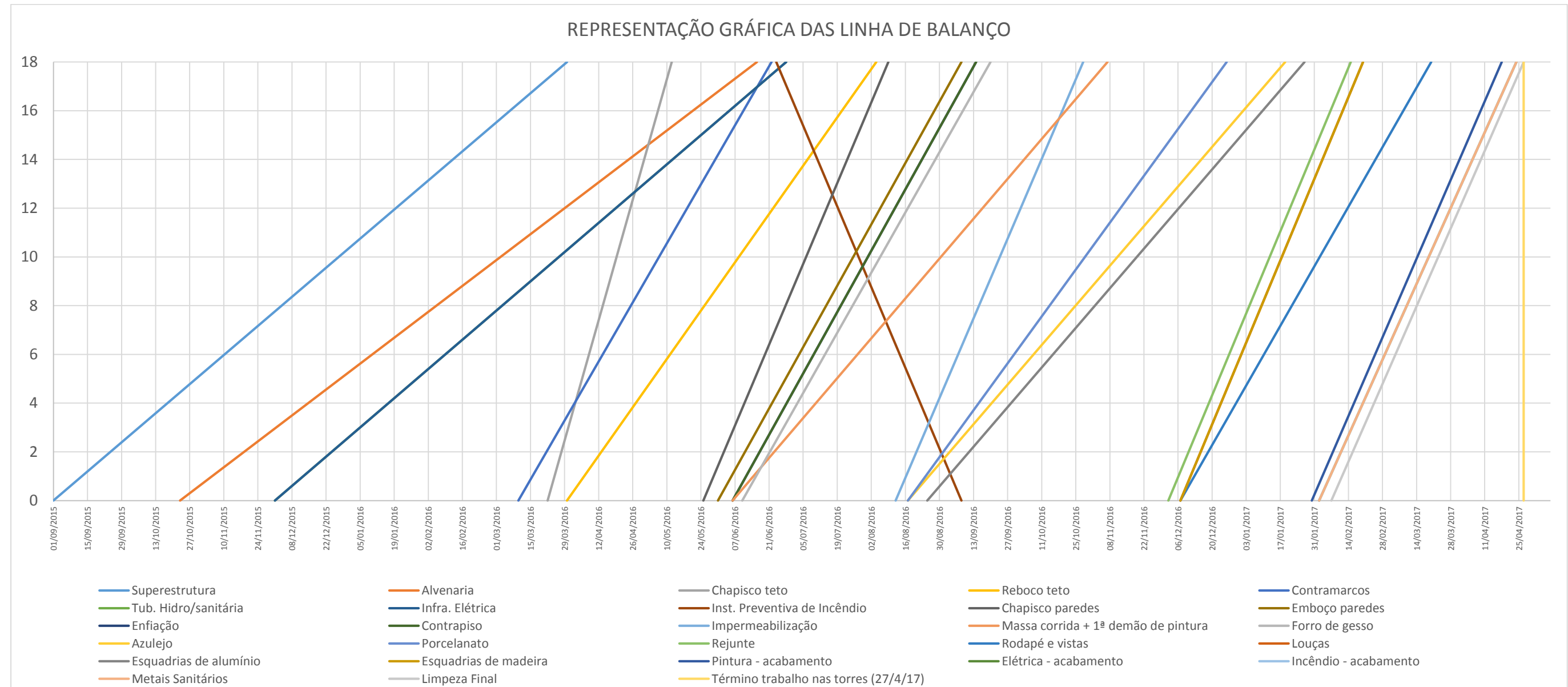
SOLANO, R. da S. **Curva ABC de fornecedores – uma contribuição ao planejamento, programação, controle e gerenciamento de empreendimentos e obras.** Dissertação de Mestrado. UFRGS. CPGEC. Porto Alegre. 1995.

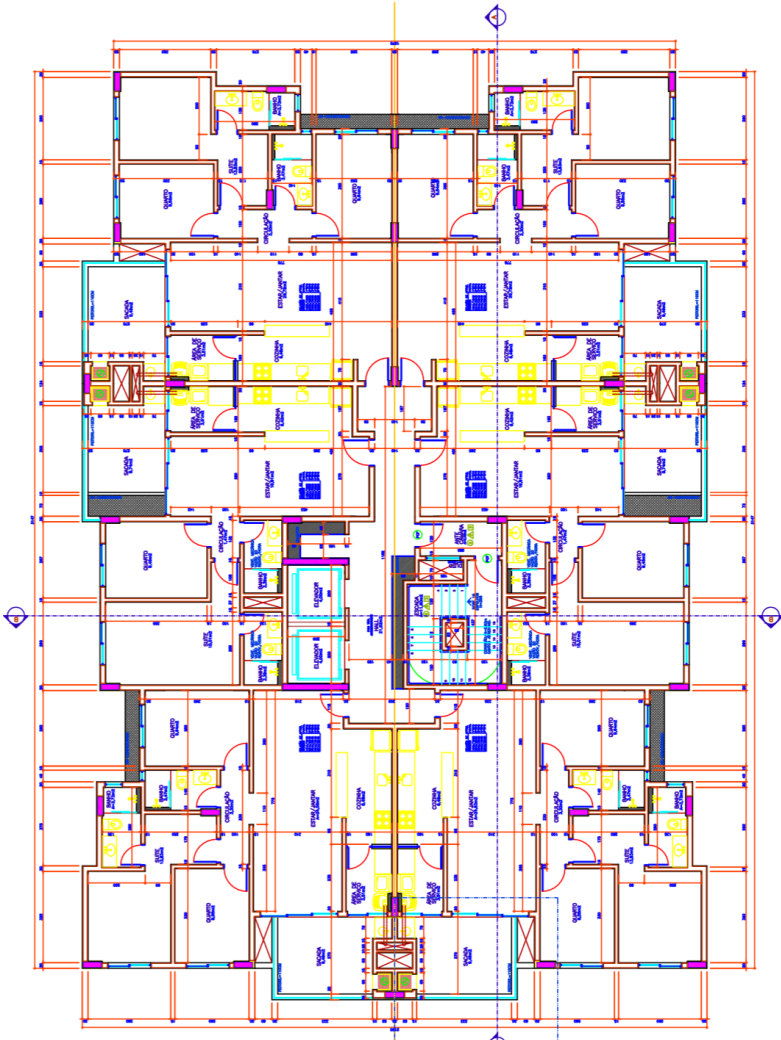
TCPO: **Tabelas de composições de preços para orçamentos,** 13ª ed. São Paulo: Pini, 2008.

TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática,** 2ªed. São Paulo: Atlas, 2009.

ZACCARELLI, S. B. **Programação e controle da produção**,
6ªed. São Paulo: Livraria Pioneira, 1982.

ANEXO 1: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA LDB DO PROJETO



ANEXO 2: PLANTA BAIXA PAVIMENTO TIPO

ANEXO 3: PLANTA BAIXA PAVIMENTO ÁTICO