

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

JOÃO HENRIQUE BELEM MARCHESINI

**APLICAÇÃO DA LINHA DE BALANÇO COM RITMO FIXO PARA O
PLANEJAMENTO E GESTÃO DE OBRAS DE INFRAESTRUTURA
URBANA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2021

JOÃO HENRIQUE BELEM MARCHESINI

**APLICAÇÃO DA LINHA DE BALANÇO COM RITMO FIXO PARA O
PLANEJAMENTO E GESTÃO DE OBRAS DE INFRAESTRUTURA
URBANA**

**Using line of balance with fixed rhythm to plan and manage an urban
development infrastructure construction**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil, do
Departamento Acadêmico de Construção Civil, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. M. Eng. Carlos Alberto da Costa

CURITIBA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JOÃO HENRIQUE BELEM MARCHESINI

**APLICAÇÃO DA LINHA DE BALANÇO COM RITMO FIXO PARA O
PLANEJAMENTO E GESTÃO DE OBRAS DE INFRAESTRUTURA URBANA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 27 de agosto de 2021

Carlos Alberto da Costa
Mestre em Engenharia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Alfredo Larozinski Neto
Doutor em Engenharia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cezar Augusto Romano
Doutor em Engenharia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Vanessa do Rocio Nahhas Scandelari
Doutora em Engenharia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2021

RESUMO

A construção civil impacta diretamente os resultados macroeconômicos em países emergentes como o Brasil. A bibliografia mostra que a Linha de Balanço é um conceito com mais de 30 anos em estudos, mas só recentemente tem sido associada com aplicações de construção enxuta. Com o objetivo de analisar comparativamente planejamentos de execução de uma obra de infraestrutura urbana, o trabalho se propõe a demonstrar o referencial teórico, apresentar um planejamento em Gantt e em Linha de balanço, e instrumentalizá-lo através de um estudo de caso. Neste sentido, a Linha de Balanço é capaz de auxiliar o planejamento tradicional da obra demonstrando que a união das duas formas de planejar geram contribuições significativas podendo colaborar para a redução dos prazos da obra.

Palavras-chave: Produtividade. Construção Enxuta. Melhoria. Loteamentos. Linha de Balanço.

ABSTRACT

Evidence shows that the construction industry impacts directly economic indexes such as the GDP, especially in emerging economies. Research shows that the Line of Balance is a concept that has been studied for more than thirty years, but just recently has been associated with lean construction. With the purpose to analyze and compare planning models to schedule the execution of an urban development project, the paper refers a catalogue of authors that have already studied this subject, presents the schedule in Gantt and with the line of balance and show those concepts applied to a case study. In this sense, Line of Balance is capable to assist this demand from worksites and the academic community, so this paper aims to aid its readers bringing a case study to apply the method in this segment of the construction industry and displays that combining both methods to plan the construction is able to give significant collaboration to the outcome reducing deadlines.

Keywords: Productivity. Lean Construction. Improvement. Urban Development. Infrastructure. Worksites. Line of Balance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Linearidade de atividades no gráfico de Gantt.....	17
Figura 2 - Linha de balanço para serviços ascendentes e descendentes	19
Figura 3 - Imagem aérea do empreendimento	29
Figura 4 - Atividades com latência negativa entre si	40
Figura 5 - Planejamento utilizando o gráfico de Gantt.....	41
Figura 6 - Seções de trabalho	43
Figura 7 - Sentido da topografia	44
Figura 8 - Fluxograma da Técnica de Planejamento.....	49
Figura 9 - Cronograma fino com os primeiros vagões passando pelas seções	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produtividades estimadas	46
Tabela 2 - Durações estimadas por seção	47
Tabela 3 - Durações balanceadas por seção	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	11
1.2	JUSTIFICATIVA	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO	13
2.2	LEAN MANUFACTURING, LEAN THINKING E LEAN CONSTRUCTION	13
2.3	PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	15
2.4	GERENCIAMENTO DE PROJETOS	16
2.5	CRONOGRAMA EM GRÁFICO GANTT	16
2.6	LINHA DE BALANÇO	17
2.7	TAKT-TIME (LINHA DE BALANÇO COM RITMO FIXO)	19
2.8	SOFTWARES COMO FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO	23
2.8.1	Microsoft Excel	23
2.8.2	Microsoft Project	23
2.8.3	Project Libre	24
2.8.4	Prevision	24
2.8.5	Miro	24
2.8.6	Trello	24
2.8.7	TQS LDB	25
2.8.8	Apple Numbers	25
3	MÉTODO DA PESQUISA	26
4	RESULTADOS	28
4.1	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	28
4.2	DEFINIÇÃO DAS EXPECTATIVAS DE PRAZOS	31
4.3	MAPEAMENTO DOS PROCESSOS CONSTRUTIVOS	32
4.3.1	Topografia	32
4.3.2	Terraplanagem	33
4.3.3	Muros de Fechamento Perimetral	33
4.3.4	Rede de Drenagem Pluvial e Poços de Visita	34
4.3.5	Bacia de Contenção de Cheias	34
4.3.6	Redes de Água, Esgoto e Poços de Visita	34
4.3.7	Rede Elétrica Primária	35
4.3.8	Rede Elétrica Secundária	35
4.3.9	Subleito	35
4.3.10	Guias e Sarjetas	36
4.3.11	Bocas de Lobo	36
4.3.12	Base do Pavimento	36
4.3.13	Acabamento dos Ramais	37
4.3.14	Rampas de Acessibilidade	37
4.3.15	Caixas Elétricas	37
4.3.16	Imprimação	37
4.3.17	Testes de Carga D'água	38
4.3.18	Pintura de Ligação	38

4.3.19	Paisagismo e Passagem do Cabeamento.....	38
4.3.20	Posteamento e Iluminação Pública	39
4.3.21	Limpeza e Sinalização Viária	39
4.4	CRONOGRAMA MACRO	39
4.5	DEFININDO AS SEÇÕES DE TRABALHO	42
4.6	PRODUTIVIDADE E DIMENSIONAMENTO DE EQUIPE	44
4.6.1	Dados Oficiais.....	45
4.6.2	Indicadores Internos.....	45
4.6.3	Consultas aos Empreiteiros	45
4.7	MONTAGEM DO GRÁFICO DE CONTEÚDOS DE TRABALHO	46
4.8	APRESENTAÇÃO DO CRONOGRAMA FINO DA OBRA COM A LINHA DE BALANÇO COM RITMO FIXO	49
4.9	RESULTADOS.....	52
5	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS	56
	ANEXO 1	60
	ANEXO 2	62

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das grandes forças motrizes para a economia de qualquer país, mas para o Brasil esse fato é especialmente relevante devido ao impacto que a indústria traz no Produto Interno Bruto (PIB). No ano de 2019 o PIB brasileiro cresceu 1,1% enquanto o PIB da construção civil cresceu 1,6% (IBGE, 2020), mostrando assim a sua capacidade de impactar o crescimento do país.

O setor é bastante complexo e diversificado, abrangendo múltiplos agentes, em diferentes possibilidades de combinação, atuando em várias etapas de um empreendimento (PICCHI, 2000).

Outro fator com relevância significativa e que expõe a função social da construção civil é o fato de que a cada R\$ 1 milhão investidos, a construção cria 7,64 empregos diretos e 11,4 empregos indiretos e esse efeito social gera R\$ 492 mil e R\$ 772 mil sobre o PIB, respectivamente. A maior parte do que é investido na indústria da construção no Brasil retorna como PIB, emprego, imposto e renda. O fluxo de investimentos na construção civil depende de fatores macroeconômicos e inclusive globais, desde a indexação das taxas básicas de juros e até mesmo o regime tributário, no entanto os dados demonstram o potencial de transformação social dessa indústria (CBIC, 2020).

Diante do exposto, a engenharia deve otimizar os recursos existentes numa obra, para que seja possível maximizar os resultados de cada empreendimento, garantindo solidez e estabilidade para construtoras, incorporadoras e demais empresas da indústria da construção civil. No setor de infraestrutura urbana não é diferente, se tratando tanto de obras públicas como de obras da iniciativa privada, garantir a máxima produtividade possível em canteiro de obra traz a estabilidade necessária para a sustentabilidade financeira dos projetos.

Para que seja possível manter todas as atividades do canteiro de obras previsíveis, é ideal dominar metodologias criativas e inovadoras de gestão bem como conhecer detalhadamente os processos construtivos analisando-os criticamente para que as projeções de cronograma sejam aderentes à realidade.

Nessa conjuntura surge o conceito de *Lean Construction* ou construção enxuta em tradução direta, para subsidiar a indústria com metodologias ágeis que auxiliam no mapeamento de processos bem como o planejamento e controle da produção. Sabendo que a Linha de Balanço é uma ferramenta que atende os princípios de

Lean Construction surge a pergunta: Como a metodologia da linha de balanço com ritmo fixo aplicada em obras de infraestrutura urbana pode contribuir para a melhoria do planejamento tradicional?

1.1. OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho consiste em analisar comparativamente o uso da linha de balanço com ritmo fixo com a elaboração do planejamento usando o gráfico de Gantt no caso de uma obra de infraestrutura urbana.

Dentro do objetivo geral, tem-se como objetivos específicos:

- Mapear o processo de produção de uma obra de infraestrutura urbana;
- Fazer simulações de cenários dentro do espaço de tempo disponível para a execução do empreendimento com o uso do gráfico de Gantt e da metodologia linha de balanço com ritmo fixo, complementando o mapeamento do processo apresentado.
- Apresentar *softwares* que auxiliem na elaboração dos cronogramas bem como expor os cenários simulados como resultado de um *software* escolhido.
- Identificar contribuições entre a elaboração de planejamento de obras com o uso do gráfico de Gantt e com a linha de balanço com ritmo fixo.

1.2. JUSTIFICATIVA

A filosofia chamada *Lean Construction* surge do conceito de *Lean Thinking* (pensamento enxuto em tradução direta), que por sua vez tem suas bases ancoradas no Sistema Toyota de Produção (STP) a qual tem sido largamente usada na indústria automobilística. O termo enxuto se aplica visando caracterizar um novo paradigma de produção, onde foi possível constatar um aumento expressivo na produtividade (PICCHI, 2003).

Para que seja possível aplicar a filosofia enxuta à uma indústria, é necessário que essa possua três fluxos básicos, que são projeto (concepção até consumidores), construção (do pedido à entrega, respeitando o fluxo de informações) e sustentação (uso ao longo do ciclo de vida). Sendo assim, podemos

ver esses três fluxos na construção civil representados pelo desenvolvimento de produtos imobiliários, pela construção em si dos empreendimentos, e pela sustentação do ciclo de vida de uma edificação, através das perícias de engenharia e demais cuidados com patologias e inconformidades construtivas (WOMACK, 2000).

Sendo assim, é possível perceber que o tema é atual, recorrente, e que é consonante com as necessidades do mercado, pois envolvem uma maior profissionalização da indústria da construção, bem como uma crescente industrialização do canteiro de obra, fazendo com que os processos de produção se tornem mais padronizados e seriados.

A implantação das metodologias de construção enxuta traz não só esses benefícios já expostos, mas também outros macroeconômicos, uma vez que dada a estreita ligação entre a construção civil e o desenvolvimento do PIB brasileiro. Conforme exposto anteriormente, um aumento de produtividade no canteiro de obra significa por consequência um impacto positivo no PIB, aumentando a qualidade de vida da população e o desenvolvimento da sociedade.

Além dessas razões de impacto macroeconômico apresentadas, a bibliografia traz a necessidade de um estudo continuado acerca do tema. Autores como MOURA e HEINECK (2014), em sua obra “Linha de balanço – Síntese dos princípios de produção enxuta aplicados à programação de obras” recomendam que futuros trabalhos busquem mais conceitos ligados ao *Lean* visualizados na Linha de Balanço (LdB), de maneira que possam ser discutidos e aperfeiçoados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo discorrerá sobre o apanhado teórico por trás do tema do trabalho e trará os conceitos mais importantes para o desenvolvimento do trabalho.

2.1 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

O Sistema Toyota de Produção (*Toyota Production System – TPS*) é conhecido como uma filosofia de produção que busca aperfeiçoar a organização, atendendo às necessidades do cliente no menor tempo possível, com qualidade e custo baixo. Ao mesmo tempo, este modelo diminui as incertezas e aumenta a moral dos seus colaboradores, objetivando integrar a manufatura com o restante da organização (LIKER, 2005).

A grande importância que a indústria japonesa obteve no mercado mundial está vinculada com seus princípios de produção, nos quais se objetiva eliminar as perdas e maximizar os ganhos, utilizando uma produção flexível e de baixo custo. Pode-se dizer que o STP é o sistema operacional que posicionou a Toyota como o terceiro maior fabricante de veículos do mundo (SHINGO, 1996).

Em síntese, no período em que o STP mais ganhou desenvoltura, os envolvidos estavam preocupados em observar todos os processos dentro da linha desde o momento em que o cliente faz o pedido até o momento que a empresa recebe o dinheiro. O objetivo é reduzir essa linha do tempo, eliminando todo desperdício que não agregue valor (OHNO, 1997).

2.2 LEAN MANUFACTURING, LEAN THINKING E LEAN CONSTRUCTION

A concepção desta filosofia da produção destaca-se na abordagem por processos (WOMACK e JONES, 1992). A filosofia *Lean Manufacturing*, no contexto do STP, passa a ser um paradigma da produção que, através de métodos e ferramentas implantadas em qualquer empresa, pode melhorar sua eficiência produtiva, produzindo mais com menos (ARANTES, 2008).

O objetivo do *Lean Manufacturing* é compatibilizar os benefícios da produção em massa com os da produção artesanal (GRENHO, 2009). Arantes (2008) destaca

esta combinação com o alto custo da produção artesanal e o sistema regido da produção em massa.

Womack e Jones (1992) dividem a filosofia nas seguintes bases:

- Sistema integrado de produção com enfoque no fluxo de pequenos lotes na produção, baseado no *just-in-time* e estoques reduzidos;
- Viabiliza ações preventivas e não corretivas;
- Opera com a produção puxada e não empurrada, baseada em previsões de demanda;
- Flexibilidade, operando com mão de obra polivalente;
- Envolvimento máximo na solução das causas de problemas, com o objetivo de aumentar o valor agregado ao produto;
- Relacionamento envolvente desde fornecedores a clientes.

Mais adiante, no final da década de 90, Womack e Jones (1998), aprofundaram os estudos nessa filosofia criando o termo Pensamento Enxuto (*Lean Thinking*), ampliando assim a sua aplicação a qualquer empresa, não somente do segmento industrial, desde que ela siga 5 princípios:

- Especificar valor para cada produto (VALOR);
- Identificar a corrente de valor para cada produto (FLUXO DE VALOR);
- Fazer o fluxo de valor acontecer sem interrupções (FLUXO);
- Deixar o cliente puxar o valor do produto (PUXAR);
- Perseguir a perfeição (PERFEIÇÃO).

O *Lean Construction* pode ser considerado uma subdivisão do *Lean Manufacturing*, pois apresenta em sua base os mesmos objetivos e conceitos de otimizar os processos produtivos através da redução dos desperdícios (PFAFFENZELLER, 2015).

Koskela (1992) apresentou o primeiro referencial teórico através do estudo “Aplicação de uma nova filosofia de produção na indústria da construção”. O intuito do trabalho era adequar o STP à construção, a fim de se obter os bons resultados da *Toyota Motor Company* (CORREIA, 2008).

Ainda segundo Correia (2008), a diferença entre a construção tradicional e a construção enxuta, está em seus conceitos. Enquanto a construção tradicional define produção como conjunto de atividades que visam a conversão de insumos em produtos finais ou parciais, na construção enxuta, a produção é vista como um fluxo de matérias, desde a matéria-prima até o produto final, onde existem atividades que agregam valor ao produto final e outras que não agregam, sendo as atividades que não agregam valor ao produto final, denominadas de atividades de fluxo.

2.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O acompanhamento e controle da produção tem o objetivo de fornecer uma ligação entre o planejamento e a execução, garantindo que o planejado e programado seja cumprido, e fornecer subsídios para a realização de ação corretiva. Existem três tipos de Planejamento, sendo eles o Planejamento Estratégico, o Planejamento Mestre da Produção e a Programação da Produção. (TUBINO, 2000)

O Planejamento Estratégico da Produção define o plano de produção de longo prazo, considerando a estimativa de venda, isto é, a previsão de demanda em longo prazo e a disponibilidade de recursos financeiros e produtivos, em outras palavras, a capacidade produtiva da empresa (TUBINO, 2000).

Métodos de planejamento e controle da Produção tem um papel essencial na construção de um sistema de produção com fluxo eficiente. As funções chave dentro de um método envolvem três fatores principais, o primeiro, referente ao design do sistema de produção do projeto, que deve permitir eficiência no fluxo. O segundo fator é relacionado à manutenção do fluxo através do controle e condução pró ativa da produção, e por fim, o terceiro fator, relacionado à melhoria contínua, é o dever de busca por evoluções nos sistemas como um todo e a redução da variação no nível das tarefas (LEHTOVAARA, et. al., 2020).

O planejamento de longo prazo tem como objetivo a definição de metas, vinculadas com o plano estratégico da empresa, usualmente focado em manter a alta gerência informada (MONLLOR, 2016)

O Planejamento Mestre da Produção tem como objetivo desmembrar o planejamento de longo prazo em planos específicos de produtos acabados em médio prazo. Nesta etapa se estabelece o Plano Mestre de Produção (PMP) (TUBINO, 2000).

A Programação da Produção recebe as ordens planejadas e, de posse do comprometimento das máquinas e pessoas, concilia necessidade com capacidade. A programação também é responsável por verificar a viabilidade do atendimento das ordens de fabricação na quantidade e prazos determinados (RUSSOMANO, 2000).

2.4 GERENCIAMENTO DE PROJETOS

O gerenciamento de projetos é um processo que conta com diversas restrições externas que evidenciam a necessidade de utilização de técnicas de planejamento e controle (WISE, 1984; WESZ, 2013). Para Abdallah Lalmi et al. (2021) a gestão de projetos é a base de todo projeto de construção, visto que os projetos estão em constante transformação. Por conta disso, a execução de uma obra deve ser um processo bem planejado para garantir a sua eficácia.

Tendo como base os conceitos do Project Management Institute, tem-se que um projeto é definido como um conjunto de produtos, serviços ou resultados exclusivos criados a partir de esforços temporários (PMBOK, 2017).

Projetos, muitas vezes, extrapolam as fronteiras da organização, atingindo fornecedores, clientes, parceiros e governo, fazendo parte, na maioria das vezes, da estratégia de negócios da companhia (VARGAS, 2005).

Gerenciar um projeto consiste em aplicar conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas com a finalidade de atender os requisitos do projeto. Abrange iniciação, planejamento, execução, monitoramento e controle e encerramento (PMBOK, 2017).

Na abordagem tradicional pode-se dizer que alguns projetos são relativamente simples, previsíveis e lineares, com conteúdo bem definido, permitindo um planejamento e acompanhamento sem grandes alterações. (ABDALLAH LALMI et al, 2021).

O guia PMBOK também expõe que os projetos mal gerenciados ou a ausência do gerenciamento de projetos podem resultar em prazos perdidos, estouros de orçamento, falta de qualidade, retrabalho, expansão descontrolada do projeto, perda de reputação para a organização, partes interessadas insatisfeitas e na incapacidade de alcançar os objetivos para os quais o projeto foi empreendido.

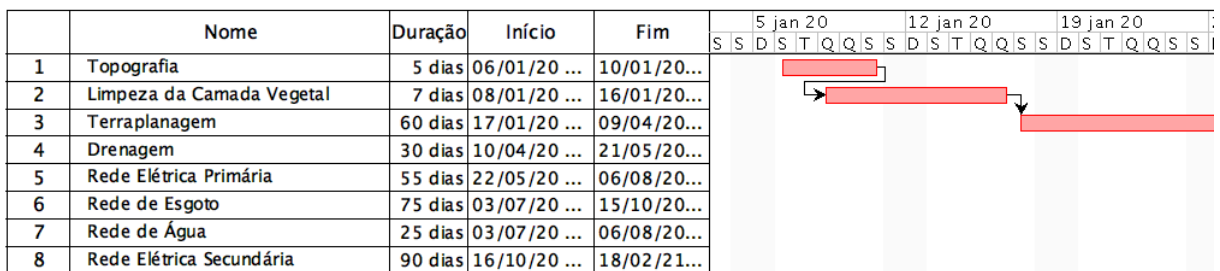
2.5 CRONOGRAMA EM GRÁFICO GANTT

Fernandez (2018) descreve o gráfico Gantt como tarefas ou atividades que são materializadas por uma barra cujo comprimento corresponde à duração, de

acordo com a escala de tempo em abcissas. Cada barra é posicionada exatamente em frente à sua data de início. A data de conclusão aparece, portanto, claramente na extremidade direita da barra quando se está de frente para o diagrama. Ao concretizar a data do momento presente, o avanço do projeto é, pois, evidente, tal como o passar dos marcos, quando estes se concretizam.

O cronograma de Gantt é visto como uma importante ferramenta de controle, devido à sua facilidade de leitura e compreensão e a apresentação de maneira simples e imediata da posição relativa das atividades ao longo do tempo. Trata-se de um gráfico com uma clara visualização do conjunto de atividades: à esquerda figuram as atividades e à direita, as suas respectivas barras desenhadas em uma escala de tempo, conforme Figura 1.

Figura 1 - Linearidade de atividades no gráfico de Gantt



Fonte: Elaboração própria.

2.6 LINHA DE BALANÇO

A técnica da linha de balanço (LdB) originou-se na indústria manufatureira. Foi desenvolvida pela Marinha dos Estados Unidos em 1942 para programar e controlar projetos que apresentassem repetições de atividades (SUHAIL e NEALE, 1994).

Conceitualmente, a LdB designa um sistema ortogonal bidimensional de eixos coordenados. Um dos eixos representa a variável tempo. O outro eixo representa as unidades de repetição. A unidade de repetição designa a quantidade de trabalho contida numa subdivisão da obra. Neste plano programa-se o ritmo das várias atividades necessárias para a conclusão dessa obra. Com produtividade constante (e mantendo a dimensão das equipes) o gráfico resultante consiste num conjunto de linhas diagonais. Disto se tem o nome de LdB. Na programação por

LdB cada atividade gera uma linha. A inclinação dessa linha depende da produtividade. Com a produtividade variável, a linha de progresso da atividade deixa de ser reta, pois consoante o aumento e diminuição da produtividade, varia a inclinação da linha. Por isso, LdB no sentido de (linha) reta de balanço implica produtividade constante (PACHECO, 2006).

A técnica Linha de Balanço (LDB), conforme Alencar (2018), tem como princípio a associação dos fluxos produtivos ao ritmo de produção. A construção é mostrada como um fluxo rítmico de linhas de produção, em que a continuidade do trabalho deve ser garantida.

Na LdB o enfoque centra-se na progressão de uma atividade pelas várias unidades de repetição. Cada LdB traça o progresso de uma atividade. Desta forma torna-se fácil entender como as várias atividades progredem. Designa-se este enfoque de visão diagonal. No entanto, pode-se ter outra visão. Pode-se enxergar a obra do ponto de vista da unidade de repetição.

Diferentes autores defendem o uso da LdB para a programação de obras repetitivas, pois nessa metodologia define-se uma unidade básica que irá se repetir e impõe-se o ritmo em que as atividades devem ser executadas, elaborando um gráfico de fácil compreensão que determina quem estará fazendo o quê, onde e quando (LOSSO E ARAÚJO, 1995).

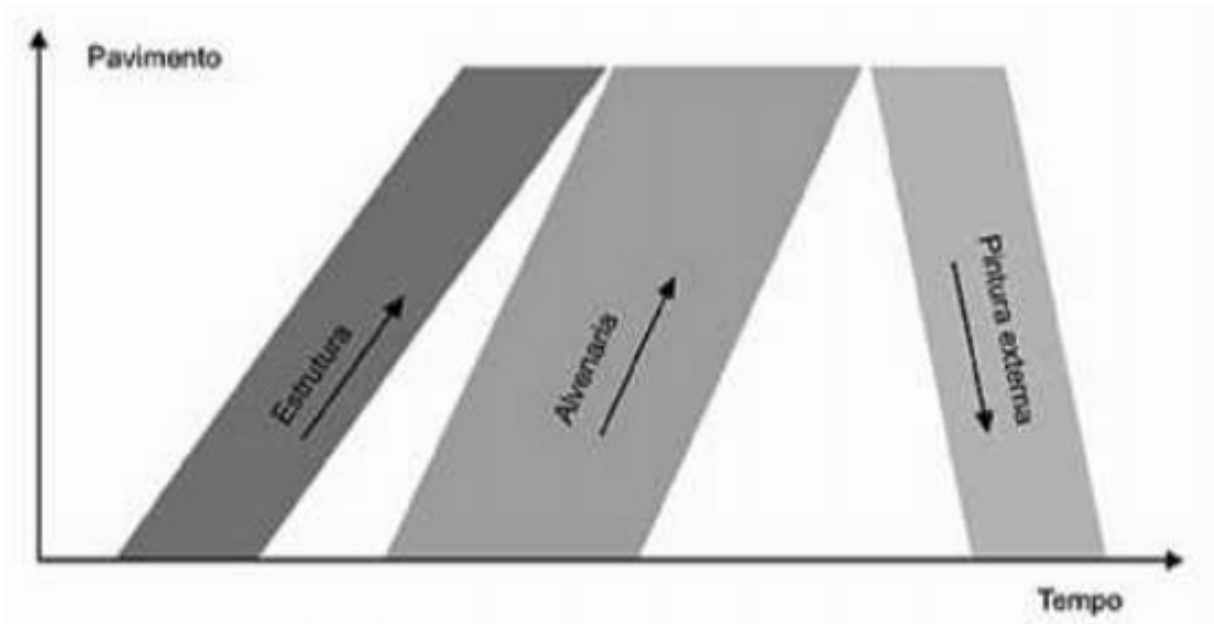
O balanceamento adequado das atividades na LdB assegura a continuidade dos serviços, sincronismo, apropriado tempo de folga, redução da variabilidade com melhor utilização dos recursos e mão de obra, maior garantia do prazo de finalização da obra, além de aumento da transparência do processo (DEPEXE et al., 2006).

Bulhões (2005) aponta que a LdB possibilita fácil análise visual e complementa ressaltando a importância da mesma na definição do ritmo de trabalho de cada processo e na identificação de interferências entre as equipes de produção.

Em algumas obras, principalmente em edifícios, há algumas atividades que podem ocorrer de maneira ascendente ou descendente, ou seja, a atividade será realizada a partir do último pavimento ao primeiro, ou iniciada no primeiro pavimento, e sendo finalizada no último. A Figura 2 representa estas atividades ascendentes ou descendentes na linha de balanço, em que é possível observar o ritmo da atividade através de sua inclinação (MATTOS, 2010).

De acordo com o autor, para obras horizontais encontra-se o mesmo raciocínio, pois há atividades que avançam em direções opostas, por exemplo, uma estrada em que um trecho é feito no sentido crescente das estacas e o outro no sentido decrescente, conforme representado na Figura 2.

Figura 2 - Linha de balanço para serviços ascendentes e descendentes



Fonte: MATTOS (2010)

Para se acompanhar o avanço das atividades de modo a verificar se há atraso na obra ou se o avanço está de acordo com o planejado, o método da linha de balanço é ideal, pois este permite realizar uma comparação entre o previsto com o realizado a partir da linha de balanço do planejamento original, tida como referência, e verificando as diferenças com o planejamento real (MATTOS, 2010). Se a linha do realizado coincide com a linha do previsto o serviço está em dia, se a linha do realizado acima da linha do previsto, o serviço está adiantado, e por fim, caso a linha do realizado abaixo da linha do previsto, o serviço está atrasado.

2.7 TAKT-TIME (LINHA DE BALANÇO COM RITMO FIXO)

Takt time é um termo proveniente da língua alemã que significa tato em tradução direta, mas é uma palavra que designa uma metodologia de gestão

baseada no ritmo, ou cadência de uma certa atividade, ou seja, é a frequência, ou regularidade, pela qual um produto deve sair da linha de produção para as mãos do cliente estando de acordo com a expectativa deste cliente. O *Takt time* é calculado utilizando a demanda do cliente e o tempo disponível. *Takt time* determina o ritmo do trabalho padronizado, ou seriado. (ROTHER e HARRIS, 2002).

Takt time foi utilizado em larga escala, por ser uma ferramenta enxuta, na indústria tradicional de manufatura, como a automobilística, onde os produtos se movem pela linha de montagem com uma configuração de *Takt time* pré-definido em cada estação de trabalho. Cada estação de trabalho deve finalizar sua tarefa antes do item ser movido para a próxima estação (Hopp e Spearman, 2008).

Trazendo o conceito de *Takt time* para a construção civil, trata-se de um parâmetro visual e esquemático do fluxo de trabalho, cadenciado pela atividade laboral humana ou pela atividade de maquinário (FRANDSON, BERGHEDE e TOMMELEIN, 2013). Na construção civil, o objetivo do *Takt* é de identificar processos repetitivos na produção, e balanceá-los de forma homogênea estabilizando assim o fluxo onde a batida do tato é mantida através das atividades (LEHTOVAARA, et. al., 2020).

Pesquisadores apontam que uma das vantagens resultantes da implantação do *Takt* é o aumento da transparência na produção, uma vez que permite uma comunicação aberta entre as frentes facilitando a regularização da produção e permitindo um controle de forma pró ativa ao invés de reativa, conhecida como o “apagar de incêndios” no curso da obra (LEHTOVAARA, et. al., 2020).

Bulhões (2005), demonstrou que controlar a produção de uma estrutura de concreto por meio de pequenos e repetitivos ciclos resulta em uma melhora significativa em produtividade, reduzindo o tempo dos ciclos e reduzindo inclusive o desperdício.

Santos e Powell (2001) *apud* Pacheco (2006), expõe que:

A verificação em campo parece comprovar a validade para a construção dessas máximas. Os autores pesquisaram em seis canteiros de obra (No Brasil e no Reino Unido) os resultados da aplicação da redução do tamanho de lote na variação do tempo de ciclo. Apesar das dificuldades de provar conclusivamente qualquer hipótese em canteiro, os autores concluem pela verificação de algumas evidências das vantagens de redução do tamanho de lote e das desvantagens de trabalhar com lotes maiores.

Na obra que trabalhava com maiores lotes, dentro de um espírito de produção em massa, verificaram-se os piores resultados em tempo de ciclo. No entanto, os autores ressaltam que mesmo o tamanho dos lotes nos canteiros que implementavam uma política enxuta de produção, os mesmos continuavam maiores do que esperado quando comparados com a prática da indústria. Tal se deve a uma resistência por parte dos gestores das obras, que preferem ter grandes estoques como forma de lidar com a variabilidade encontrada em canteiro.

Lehtovaara (2020) apresenta que os parâmetros preliminares para que um planejamento em *Takt* seja bem sucedido devem considerar que as localizações das seções de trabalho devem ser flexíveis, que os pacotes de trabalho (vagões) devem conter diversas atividades, inclusive aquelas provenientes de outras frentes e outros empreiteiros, desde que essas frentes de trabalho não se interfiram entre si, e por fim, que seja definido um tempo para qual o trabalho deve ser completado nesta dada área (seção de trabalho).

Lehtovaara (2020) também aponta duas abordagens acerca da definição das seções de controle (áreas de *Takt*), a primeira foca na busca por áreas de trabalho com densidades de trabalho iguais (quantidade de tempo e recursos necessários e despendidos para performar certo trabalho nesta área), ou numa segunda abordagem, buscar pela composição de áreas formuladas pela menor parte repetitiva do processo em unidades espaciais. Nessas abordagens é enfatizada a participação de empreiteiros de execução para a elaboração correta das seções de trabalho.

O processo onde os vagões passam pelas áreas de *Takt* a medida que o processo avança é denominado Locomotiva de *Takt*. Utilizando as seções, vagões e o tempo de *Takt* como parâmetros de planejamento, mais flexibilidade é atingida comparando outros modelos de planejamento, possibilitando um fluxo mais estável em configurações não repetitivas (TOMMELEIN, 2017).

Como dito anteriormente, *Takt time* é comumente ilustrado como um trem com diversos vagões, que se moveriam pelo canteiro de obras. Os vagões representariam os diferentes times, ou grupos de operários que completam um conjunto de tarefas pré-definidas naquele determinado local da obra. Quando as tarefas desse vagão são finalizadas nessa seção da obra, ele parte para a seção seguinte, e um outro vagão composto por outras atividades e trabalhadores chegam nesta seção onde o vagão anterior completou as atividades. Juntos, esses vagões

fazem com que a locomotiva percorra todas as fases da obra, concluindo-a quando o último vagão passa pela última seção (GARDARSSON, LÆDRE e SVALESTUEN, 2019).

Ainda de acordo com Gardarsson, Lædre e Svalestuen (2019), a capacidade de cada vagão (dentro da analogia do trem) é a quantidade de trabalho que é possível desenvolver dentro do tempo de *Takt* determinado com uma certa equipe. Em projetos que o *Takt* é implementado, a maior parte dos vagões trabalha com uma capacidade reduzida, enquanto os vagões de atividades críticas determinarão o ritmo. Quando o tempo de *Takt* for alto demais, os vagões menos críticos terão muito tempo ocioso, enquanto tempos de *Takt* mais curtos gerarão uma série de problemas para os vagões críticos em relação à terminalidade das atividades. Quando necessário é possível estabelecer *buffers* de segurança que garantam que as frentes de trabalho não entrarão em conflito.

Uma vez que o número de vagões, número de seções de trabalho e o tempo de *Takt* é conhecido, o tempo de duração total do projeto pode ser calculado usando a Equação 1 (NEZVAL et al. 1960, citada por BINNINGER et al. 2018):

$DT = (NV + NS - 1) \times TT$	Eq. 1
--------------------------------	-------

Onde:

DT – Duração Total

NV – Número de Vagões

NS – Número de Seções de Trabalho

TT – Tempo de *Takt*

Gardarsson, Lædre e Svalestuen (2019) comparam em sua obra o uso do *Takt* entre diversos projetos de construção civil em países escandinavos, uns onde tem sido aplicado desde o ano 2000 e outros países onde a indústria da construção não é familiarizada com a metodologia, e neste caso eles ressaltam que para que o *Takt* se torne consistentemente bem sucedido é necessário e vital que os empreiteiros subcontratados sejam treinados suficientemente para entender a metodologia, e por isso é necessário que o gerente de projetos dedique um tempo antes da obra começar, a fim de que todos se sintam confortáveis com a maneira

que a obra será conduzida, entendendo seus papéis dentro dos vagões e seções. A utilização dos mesmos construtores e empreiteiros em variados projetos ajudará na sinergia da obra uma vez que o tempo necessário para treinamento é reduzido.

2.8 SOFTWARES COMO FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO

Este capítulo do presente trabalho tem como objetivo apresentar algumas ferramentas gráficas e analíticas para auxiliar no planejamento do projeto de infraestrutura, visto que atualmente é possível realizar o gerenciamento de uma construção de diversas maneiras. São elas:

2.8.1 Microsoft Excel

O editor de planilhas da Microsoft Office é a ferramenta mais comum e simples para se usar durante o planejamento de um projeto. Por ser um software generalista o usuário tem mais liberdade para criação de *templates* e modelos, no entanto, é mais complexo montar modelos automatizados uma vez que será necessária a elaboração de macros e até programação em VBA (Visual Basic Application), linguagem de programação específica para o Microsoft Excel.

2.8.2 Microsoft Project

Também conhecido somente como Project, esse software é tido como a melhor ferramenta do planejador, gerando gráficos de Gantt instantâneos, uma vez que sua interface é inteiramente voltada para a listagem de atividades, com as suas durações, vínculos de todos os tipos (Início-término, Término-início, Início-Início e Término-término), restrições das atividades e latências entre elas. Todas as alterações feitas em relação a duração de tarefas e vínculos no projeto são atualizadas automaticamente conforme o projeto é alterado. Dentro do software é possível definir os locais dentro da obra, e desta forma selecionar a elaboração automática de uma linha de balanço. Vale ressaltar que ambos Excel e Project são softwares pagos da Microsoft e dependem de licença para sua utilização.

2.8.3 Project Libre

Se trata de uma versão *Open Source* (código aberto em tradução livre), do Microsoft Project. Por ser uma versão gratuita e livre, é muito limitada em recursos, como por exemplo a linha de balanço, que não é disponível, quando comparada ao MS Project. No entanto, pode-se realizar um planejamento macro de atividades usando esse software, mantendo os custos fixos da obra reduzidos, uma vez que não é necessária a contratação de licença de uso.

2.8.4 Prevision

Trata-se de uma plataforma digital e online que visa integrar sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*), ou sistemas de gestão integrados, os orçamentos de obra realizados em Excel e os cronogramas elaborados no Project, permitindo uma aproximação do escritório ao canteiro de obras. Dentro da plataforma existe a funcionalidade de criação das linhas de balanço. O acesso à essa plataforma é pago e personalizado conforme a necessidade de cada empresa, possibilitando o uso de mais ou menos funcionalidades.

2.8.5 Miro

Se trata de uma plataforma digital e online para desenho de fluxogramas. É uma plataforma gratuita, mas limitada a elaboração de desenhos, sem automatizações e análises profundas. Esta plataforma por ser online e na nuvem permite o trabalho simultâneo de um grupo de pessoas facilitando a colaboração.

2.8.6 Trello

Também se trata de uma plataforma digital e online, mas para o acompanhamento de tarefas entre usuários. Ela permite o cadastro de fichas que se deslocam entre colunas para que nada seja deixado para trás. Inicialmente é

uma plataforma gratuita, mas com limitações. Uma vez que se compra o pacote de assinatura anual é liberada mais ações dentro dos espaços de trabalho criados.

2.8.7 TQS LDB

É um aplicativo de elaboração de linhas de balanço, que trabalha em conjunto aos demais softwares da empresa TQS, mais reconhecida por seus sistemas de cálculo estrutural. É um sistema de licença mensal, renovado periodicamente.

2.8.8 Apple Numbers

É um sistema similar ao Microsoft Excel que permite a edição de planilhas, mas é exclusivamente para o uso em sistemas operacionais Macintosh. As possibilidades e limitações são as mesmas daquelas apresentadas no Microsoft Excel.

3. MÉTODO DA PESQUISA

Método científico é um conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos adotados para se atingir o conhecimento, como característica fundamental a sua verificabilidade, segundo Gil (2008).

O método da pesquisa consiste em buscar referências teóricas como artigos científicos, livros, capítulos de livros, dissertações, além de normas e manuais. Dentre eles, estão os conceitos teóricos e as técnicas de planejamento fundamentais.

Em se tratando de uma pesquisa com finalidade exploratória, a abordagem se dá de forma quali-quantitativa, contendo intervenção experimental e tem como fonte de dados a bibliografia conforme mencionado bem como documental do caso estudado.

Com a finalidade de delimitar o estudo de caso, será apresentada uma obra de infraestrutura urbana onde foi concedido o acesso às informações básicas relacionadas ao projeto. O capítulo 4.1 do presente trabalho dissertará de forma pormenorizada sobre todos os aspectos técnicos que delimitarão o estudo.

Em linha com os objetivos específicos do trabalho, escolheu-se trabalhar com o *software Project Libre* para desenvolver o cronograma em gráfico de Gantt e com o *Microsoft Excel* para desenvolver as linhas de balanço, visto que estes são *softwares* muito utilizados hoje no mercado por sua facilidade em acessá-los e por sua versatilidade de criação e automatização de *templates*.

A técnica de planejamento a ser aplicada, seguirá as seguintes etapas:

Etapa 1: Definição da obra para delimitação do estudo de caso, adotando como critério, a metragem quadrada do empreendimento, se conta com rede de distribuição de energia elétrica aérea, subterrânea ou híbrida, se conta com uma bacia de contenção de cheias ou se possui outro dispositivo de dissipação de energia previsto em projeto no que tange o projeto de drenagem pluvial, entre outros.

Etapa 2: Definição das expectativas de prazos para a obra e suas datas marco de início e conclusão.

Etapa 3: Mapeamento dos processos construtivos, conforme as suas precedências para gerar uma lista de unidades básicas de repetição.

Etapa 4: Elaboração do cronograma macro em Gantt através do software Project Libre e apresentação de seu gráfico.

Etapa 5: Definição das seções de trabalho pelas quais os vagões irão executar as atividades construtivas.

Etapa 6: Levantamento das produtividades esperadas dentro de cada atividade afim de definir de um ritmo de trabalho dentro das seções escolhidas.

Etapa 7: Montagem do gráfico de conteúdos de trabalho para definição do ritmo de trabalho, bem como balancear os dados levantados de produtividade na etapa 6 e apresentar o cálculo de dias de *Takt*, ou seja, ritmo da produção e duração total da obra.

Etapa 8: Apresentar o cronograma fino da obra com o gráfico de conteúdos de trabalho, unindo informações das etapas iniciais, desde o mapeamento dos processos construtivos, considerando as seções e vagões balanceados bem como os dias de *Takt* calculados e o *buffer* programado com base nos dados pluviométricos históricos que interrompem a obra por interferência climática.

Etapa 9: A nona etapa apresenta um fechamento ao trabalho trazendo uma análise dos resultados.

Por fim, os resultados tanto qualitativos quanto os quantitativos são apresentados de forma dissertativa apontando primeiramente de forma percentual os ganhos de prazo utilizando um ou outro planejamento, e posteriormente de forma explicativa acerca das contribuições entre as técnicas de planejamento.

4. RESULTADOS

O presente capítulo do trabalho pretende apresentar e analisar os resultados, seguindo a metodologia descrita no capítulo anterior, da metodologia.

4.1. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A fim de elucidar o presente trabalho, uma empresa de desenvolvimento urbano concedeu acesso à uma de suas obras para entendermos a aplicação da metodologia através do estudo de caso. A empresa concedeu o também o contato do coordenador de engenharia para a consulta de eventuais dúvidas acerca do empreendimento.

O empreendimento, localizado no estado de Mato Grosso do Sul (MS), tem área total de aproximadamente 25 hectares (250.000 m²) e trata-se de uma gleba de formato retangular contando com uma topografia majoritariamente plana com uma leve declividade que se estende da frente do empreendimento até os fundos da gleba onde passa um córrego denominado Córrego Coqueiros.

O empreendimento objeto do estudo é um loteamento de acesso controlado voltado ao público de alto padrão aquisitivo, com 249 lotes de 550 m² em média, lote mínimo de 500 m² e lote máximo de 750 m². Os lotes estão distribuídos ao longo de 17 quadras conforme projeto urbanístico demonstrado na Figura 3:

Figura 3 - Imagem aérea do empreendimento

Fonte: Google Earth (2021)

Acerca dos aspectos relacionados à infraestrutura do loteamento, por se tratar de um empreendimento de alto padrão, a empresa loteadora escolheu pela execução de infraestrutura elétrica de alta e média tensão de forma subterrânea. Essa escolha tem implicações no sequenciamento de atividades quando comparado à um loteamento de padrão econômico, pois essa infraestrutura da rede elétrica pode ser híbrida, mista ou 100% aérea. Chama-se de híbrida quando a média tensão é aérea e alta tensão subterrânea ou vice e versa, mista quando a rede de média tensão é aérea e a conexão com as unidades autônomas é subterrânea e totalmente aérea a rede tradicional vista nas cidades brasileiras. Essas conformações dos projetos de infraestrutura de rede elétrica têm impacto também no posicionamento de transformadores, sendo necessária a previsão em

projeto da locação dos mesmos, e durante a obra, o planejamento de sua execução, montagem, comissionamento e cercamento.

Por conta da conformação do solo na região, que é majoritariamente arenoso e argiloso, durante a aprovação e licenciamento do empreendimento foi exigida a construção de uma bacia de amortecimento da rede coletora de águas pluviais bem como a construção de dispositivos dissipadores de energia próximos da área de preservação permanente (APP) do rio que passa ao fundo da gleba. Desta forma a água da chuva coletada pela drenagem urbana é dissipada no córrego de forma desacelerada, evitando o assoreamento e lixiviação do corpo hídrico.

Para delimitar as atividades que ficam fora do escopo do *Takt* é necessário ressaltar que o empreendimento possui diversas áreas de lazer comunitário como praças com equipamentos de ginástica, salão de festa e espaço gourmet com estacionamento de visitantes, piscinas adulto e infantil, academia de ginástica fechada, edificações para sediar a administração do condomínio, portaria social e de serviço para o acesso ao loteamento com guaritas de vigilância 24 horas, entre outros equipamentos de área comum.

O controle e planejamento de execução dessas edificações de área comum ficarão de fora do escopo do presente trabalho, visto que o foco abordado aqui será sobre as obras de infraestrutura urbana que possuem especificidades quando comparadas às obras civis de edificações térreas, caso dessas supracitadas.

Durante o licenciamento e aprovação do empreendimento, também foi exigida a extensão da rede de esgoto da região, com a construção e instalação de uma Estação Elevatória de Esgoto Bruto (EEEB), bem como uma extensão de um trecho viário de aproximadamente 2 km de extensão para acessar o empreendimento. Estas atividades de infraestrutura externas ao empreendimento também ficarão de fora do estudo por se tratarem de peculiaridades regionais na atividade de loteamentos e desenvolvimento urbano, que variam de projeto para projeto.

Por fim, temos a bacia de contenção de cheias mencionada anteriormente, para captação de águas pluviais, que ficará de fora do mapeamento, pois trata-se de um dispositivo que é caracterizado pela sua especificidade conforme o empreendimento, tendo o seu dimensionamento calculado de acordo com o índice pluviométrico regional, a topografia do terreno e a tipologia do solo daquele

empreendimento, o que pode afetar grandemente os resultados do estudo. No caso do empreendimento objeto do trabalho, a bacia de contenção e amortecimento de cheias fica localizada no ponto topográfico mais baixo da gleba, nos fundos do empreendimento, próximo à APP, e seu projeto previu sua execução com muros de arrimo em forma de gabião, com a disposição de enrocamentos rochosos no fundo, para evitar o seu assoreamento.

Tal delimitação do escopo do trabalho foi feita baseada na composição dos custos levantados para o presente estudo de caso, onde mais de 51% dos custos estimados da obra se concentra nas atividades relacionadas a infraestrutura interna ao empreendimento, 24% dos custos estimados se destinava às edificações de uso comum ao condomínio, e 25% dos custos tem alocação nas obras de infraestrutura externa ao empreendimento (EEEB, obras de pavimentação viária no acesso à gleba e bacia de contenção de cheias).

4.2. DEFINIÇÃO DAS EXPECTATIVAS DE PRAZOS

Ao longo do processo de prospecção, tratativas com os proprietários do terreno, aprovação e lançamento do empreendimento, foi definido que os prazos de execução não deveriam ultrapassar 24 meses a partir da obtenção do Termo de Início de Obra (TIO). No entanto, é intuito surpreender positivamente todos os *stakeholders* envolvidos, transformando o empreendimento, não só em um caso de sucesso de vendas, como também um excelente exemplo de execução do ponto de vista da engenharia, obtendo um resultado acima do esperado com relação ao prazo anunciado.

Dessa forma a expectativa da diretoria da empresa seria de iniciar as obras nos primeiros dias úteis do ano, em 06 de janeiro de 2020, e que fosse concluído em 18 meses, em julho de 2021.

Sendo assim, todo o planejamento de 24 meses, deveria ser redesenhado de forma a atender as expectativas dos dirigentes da empresa, e se mantendo aderente à realidade de uma produção na construção civil.

4.3. MAPEAMENTO DOS PROCESSOS CONSTRUTIVOS

A presente etapa é onde se dá início ao planejamento da obra e se mapeia o processo construtivo. Essa etapa visa dar os subsídios necessários para a etapa seguinte de seccionamento do projeto para que os vagões passem de forma uniforme pelas seções dando um fluxo contínuo à produção. O presente capítulo do trabalho também busca também compreender os processos construtivos, fazendo um mapeamento analítico dos processos construtivos relativos à atividade de loteamento identificando oportunidades de melhoria e também visando a eliminação de restrições construtivas garantindo a terminalidade dos processos executivos.

Fazendo um paralelo entre a indústria automotiva e a indústria da construção civil, vemos na indústria automotiva que as frentes de trabalho ficam estáticas na planta industrial, fixas e sem restrições, enquanto o produto que está sendo desenvolvido (automóvel) está sempre se movimentando com um ritmo uniforme pelas frentes. Já na indústria da construção civil, verificamos o oposto, onde o produto imobiliário é estático e as frentes de trabalho são móveis e caminham pelo produto em um ritmo contínuo e uniforme dentro da metodologia.

4.3.1. Topografia

Com isso dito, observando as atividades específicas dentro de um canteiro de obras de loteamentos, verificamos que a obra se dá início com a equipe de topografia, que irá realizar a demarcação das quadras, poços de visitas, caixas de passagem, passeios e demais marcos relevantes para a obra. Analogamente a uma obra civil, esta seria a etapa de locação da fundação e vigas baldrame.

Posteriormente temos a atividade de limpeza da camada vegetal, onde se dá início a utilização do maquinário mais pesado como moto niveladoras, retroescavadeiras e afins. Essa etapa também é popularmente conhecida como “raspagem das ruas”.

4.3.2. Terraplanagem

Em seguida, com o arruamento do empreendimento delimitado, tem-se a entrada das equipes de terraplanagem, utilizando o mesmo maquinário utilizado na atividade anterior, de limpeza da camada vegetal, mas dessa vez, rebaixando ou aumentando o nível topográfico das ruas conforme o projeto de greide, corte e aterro. Na fase de terraplanagem se compensa os volumes de movimentação de terra com o volume de solo existente dentro do empreendimento, se transporta o volume excedente para um aterro (bota fora), ou se traz solo de uma reserva/jazida, na hipótese de falta de material para compensar os volumes de corte.

Essa etapa é fundamental pois as ruas e os lotes devem respeitar uma declividade máxima de 30% imposta em lei (lei federal 6.766), e dependendo do projeto, as redes de drenagem pluvial, de água e a rede de esgoto devem permanecer em conformidade com a declividade e com caimento por gravidade. Esse caimento não pode ter interferências com as fundações dimensionadas na pavimentação, como o reforço de subleito e subleito do sistema viário.

Além do corte e do aterro dos trechos de rua conforme o projeto, nessa parte do trabalho é feita adequação de platôs das quadras, deixando os lotes em nível com os futuros passeios. Nesta atividade pode-se enxergar uma oportunidade de melhoria na produtividade, utilizando as máquinas para executar os platôs das edificações de área comum do empreendimento, para que futuramente possam receber as equipes de obras civis.

4.3.3. Muros de Fechamento Perimetral

Concluída a terraplanagem, pode-se dar início aos muros de fechamento e gradis do empreendimento, visto que é uma atividade que não impacta as seções de trabalho futuras, e se deixada para ser realizada após a execução de toda a infraestrutura, esta atividade pode se tornar crítica, atrasando a entrega do empreendimento ao cliente.

4.3.4. Rede de Drenagem Pluvial e Poços de Visita

Concomitante ao início da execução dos muros e gradis, pode-se dar início a execução da rede de drenagem pluvial considerando sua escavação assentamento das manilhas e conectores. Posteriormente pode-se iniciar os poços de visita das galerias de drenagem.

4.3.5. Bacia de Contenção de Cheias

Executada a rede de drenagem urbana, se abre frente para iniciar a bacia de contenção de cheias, visto que essa é uma atividade não repetitiva que fica de fora do mapeamento do Takt, e assim como os muros de fechamento não impactam atividades futuras mas se deixada para fazer após a execução da infraestrutura, pode se tornar crítica atrasando a entrega do empreendimento.

4.3.6. Redes de Água, Esgoto e Poços de Visita

Juntamente ao início da execução da bacia, pode-se começar a execução das redes de água e esgoto, bem como a construção dos poços de visita dessas redes. Vale ressaltar nesse momento que as redes de drenagem podem ser feitas no meio da caixa da rua, abaixo das sarjetas ou abaixo do passeio, já as redes de água e esgoto devem ser executadas exclusivamente nos passeios do loteamento. Essa definição vai depender das premissas adotadas em projeto e das exigências feitas pelas concessionárias de água e esgoto, e das agências reguladoras e licenciadoras do projeto. Na hipótese das redes de água e esgoto serem distantes das redes de drenagem pluvial, há uma possibilidade de ganho de produtividade utilizando o maquinário que escava as valas de instalação da drenagem, para também executarem a abertura das valas nos passeios, facilitando a instalação futura da rede de água e esgoto.

Neste momento é importante ressaltar dois pontos referentes à execução de obras de infraestrutura de forma geral. Os operadores de máquinas como retroescavadeiras devem ter especial cautela na abertura de valas quando alguma das redes já tiver sido executada, pois as pás podem romper uma tubulação,

causando vazamentos que, se não vistos e consertados a tempo, podem causar um prejuízo futuro danificando a pavimentação e outras redes, como a elétrica, se ela for subterrânea. Por conta disso, indica-se a contratação de somente um empreiteiro, que execute a rede de drenagem, água, esgoto, elétrica e pavimentação. Se isso não for possível é necessário um cuidado especial por parte do incorporador do loteamento, fazendo a gestão de empreiteiros em canteiro de forma mais próxima.

4.3.7. Rede elétrica primária

Dando continuidade ao mapeamento do processo construtivo, com as redes de água e esgoto executadas, bem como seus poços de visita, pode-se iniciar a execução da rede elétrica primária, ou também conhecida como rede de média tensão. Essa rede traz a energia transmitida pela concessionária até o empreendimento, e reduz a tensão por meio dos transformadores instalados de modo que seja possível conectar com a rede de baixa tensão que se conecta com as unidades autônomas. Essa rede exige barramento blindado e tubulações de bitolas maiores com cabeamento de diâmetro maior.

4.3.8. Rede Elétrica Secundária

Na sequência tem-se a execução da rede elétrica secundária, conhecida como rede de baixa tensão, que conduz a energia dos transformadores distribuídos pelo empreendimento até as unidades autônomas. Para garantir a terminalidade dessa atividade é necessária a execução das caixas elétricas, que serão mapeadas futuramente. Aqui considera-se também a execução das tubulações para redes de telefonia e iluminação pública.

4.3.9. Subleito

Com as redes instaladas no empreendimento deve-se proceder com a execução do subleito dimensionado para a pavimentação do sistema viário. Nesta etapa é realizada escavação e compactação do solo, melhorando a qualidade do

mesmo com elementos como cal ou rochas dependendo da especificidade das tipologias do solo. Esta atividade requer um laboratorista em canteiro, realizando os traços e analisando a granulometria dos materiais aplicados no subleito.

4.3.10. Guias e Sarjetas

Realizada toda a compactação do subleito, deve se dar início à execução das guias e sarjetas, respeitando o traçado do sistema viário e reservando espaço para as rampas de acessibilidade, para que sejam executados posteriormente. Existem diversos modelos de guias e sarjetas, porém uma das maneiras mais usuais de executá-las é com uma forma de extrusão, onde o caminhão betoneira alimenta a forma enquanto esta é puxada ao longo do traçado das quadras. Outra forma de executar as guias e sarjetas é realizando a aquisição de peças pré-moldadas, mas a instalação destas peças é um trabalho mais manual, sendo mais suscetível a falhas de qualidade, e levando mais tempo para sua execução.

4.3.11. Bocas de Lobo

Com as guias e sarjetas prontas dá-se início à execução das bocas de lobo, que tem por objetivo conectar o sistema viário à rede de drenagem pluvial. Nesta etapa deve-se observar o caimento correto das guias e sarjetas nas bocas de lobo para evitar empoçamentos da água de chuva no empreendimento ou até eventuais alagamentos.

4.3.12. Base do Pavimento

Após concluídas as bocas de lobo, inicia-se a base da pavimentação sobre o subleito. A presente etapa construtiva regulariza o solo para o recebimento futuro da imprimação e aplicação do Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). No entanto, a imprimação deve ser executada mais próximo da aplicação do CBUQ para que se garanta a terminalidade da atividade. Esta atividade será abordada mais a frente.

4.3.13. Acabamento dos Ramais

Com a base da pavimentação executada se faz o acabamento dos ramais de ligação que conectam as bocas de lobo à rede de drenagem pluvial de modo que se garanta a estanqueidade no sistema evitando vazamentos nas tubulações.

4.3.14. Rampas de Acessibilidade

Posteriormente ao acabamento dos ramais de drenagem se faz as rampas de acessibilidade, em nível com a base da pavimentação asfáltica.

4.3.15. Caixas Elétricas

Na sequência tem-se a execução das caixas elétricas nos lotes, que conectam a rede de baixa tensão com os lotes e é o local onde o futuro morador conecta a caixa de medição do seu lote.

4.3.16. Imprimação

Nesse momento pode-se iniciar a imprimação, que consiste na aplicação de material asfáltico sobre a superfície da base concluída, antes da execução do revestimento asfáltico, objetivando conferir coesão superficial, impermeabilização e permitir condições de aderência entre esta e o revestimento a ser executado. Segundo o Departamento de Estradas e Rodagens do Estado do Paraná (DER-PR) em seu documento de nome Especificações de Serviços Rodoviários sob o código DER/PR ES-P 17/17, imprimação é a pintura asfáltica executada sobre a superfície de uma camada de base para promover certa coesão à superfície da camada pela penetração do ligante asfáltico aplicado, impermeabilizar e conferir condições adequadas de ligação entre a camada de base e a camada asfáltica a ser sobreposta. É aplicável em camadas de base de pavimentos flexíveis.

4.3.17. Testes de Carga D'água

Em seguida deve se iniciar os testes de carga d'água nas redes de água e esgoto, considerando as pressões em condições de uso. Essa etapa visa mapear eventuais falhas nos conectores, ou vazamentos e, caso se encontre alguma inconformidade, corrigi-la em tempo.

4.3.18. Pintura de Ligação

Com todas as conexões das redes funcionando conforme projeto de dimensionamento de carga, tem-se condições de iniciar a pintura de ligação, para enfim receber o assentamento do CBUQ, que deve se dar de forma concomitante e sequencial, para garantir a correta ligação química entre os elementos. Segundo o Departamento de Estradas e Rodagens do Estado do Paraná (DER-PR), em seu documento de nome Especificações de Serviços Rodoviários sob o código DER/PR ES-P 17/17, a pintura de ligação é a pintura asfáltica executada com a função básica de promover a aderência ou ligação da superfície da camada pintada com a camada asfáltica a ser sobreposta. É aplicável em camadas de base, em camadas de ligação ou intermediárias de duas ou mais camadas asfálticas na construção de pavimentos flexíveis e ainda, sobre antigos revestimentos asfálticos, previamente à execução de um reforço, recapeamento e rejuvenescimento superficial com lama asfáltica, micro revestimento e reperfilagens com misturas asfálticas a frio ou a quente.

4.3.19. Paisagismo e Passagem do Cabeamento

Por fim, deve-se iniciar a execução do paisagismo e a passagem do cabeamento das redes elétricas de baixa tensão, considerada como fase final de execução de obras de infraestrutura urbana.

4.3.20. Postejamento e Iluminação Pública

Executado o cabeamento, o empreendimento está pronto para receber o postejamento e cabeamento da rede de iluminação pública.

4.3.21. Limpeza e Sinalização Viária

Concluindo, se inicia a limpeza geral do empreendimento e a execução da sinalização viária vertical e horizontal conforme projeto aprovado nas agências de trânsito municipais.

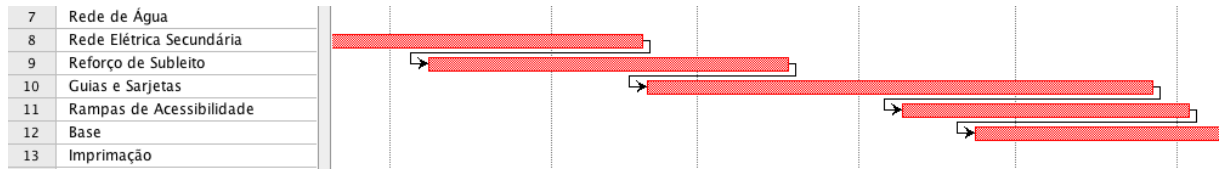
4.4. CRONOGRAMA MACRO

Uma vez mapeado e sequenciado os processos da obra, podemos elaborar o cronograma macro da obra. Conforme apresentado na Figura 4, pode-se perceber que a obra se inicia dia 06/01/2020 com a atividade de topografia, e leva 24 meses para ser concluída, em 30/12/2021, com a atividade de sinalização viária, conforme as expectativas iniciais expressas no item 4.2 do presente trabalho resultado.

Uma limitação do cronograma macro que foi realizado no presente trabalho, é de que o planejamento considera uma frente de trabalho única passando pelo empreendimento como um todo, e que as atividades têm vinculação término-início. Isso faz com que o prazo de execução se dilate de forma a prejudicar a previsibilidade do projeto, pois a planejamento está pouco detalhado e no limite do prazo de 24 meses.

Sabe-se também que, as dimensões do empreendimento (25 ha) permitem que haja várias frentes de trabalho, por isso as atividades no cronograma macro tem uma certa latência negativa entre uma atividade e outra, conforme a Figura 4, porém a determinação dessa latência se dá de maneira empírica e pouco eficaz, uma vez que é mais difícil perceber onde as frentes de trabalho estarão em cada dia.

Figura 4 - Atividades com latência negativa entre si

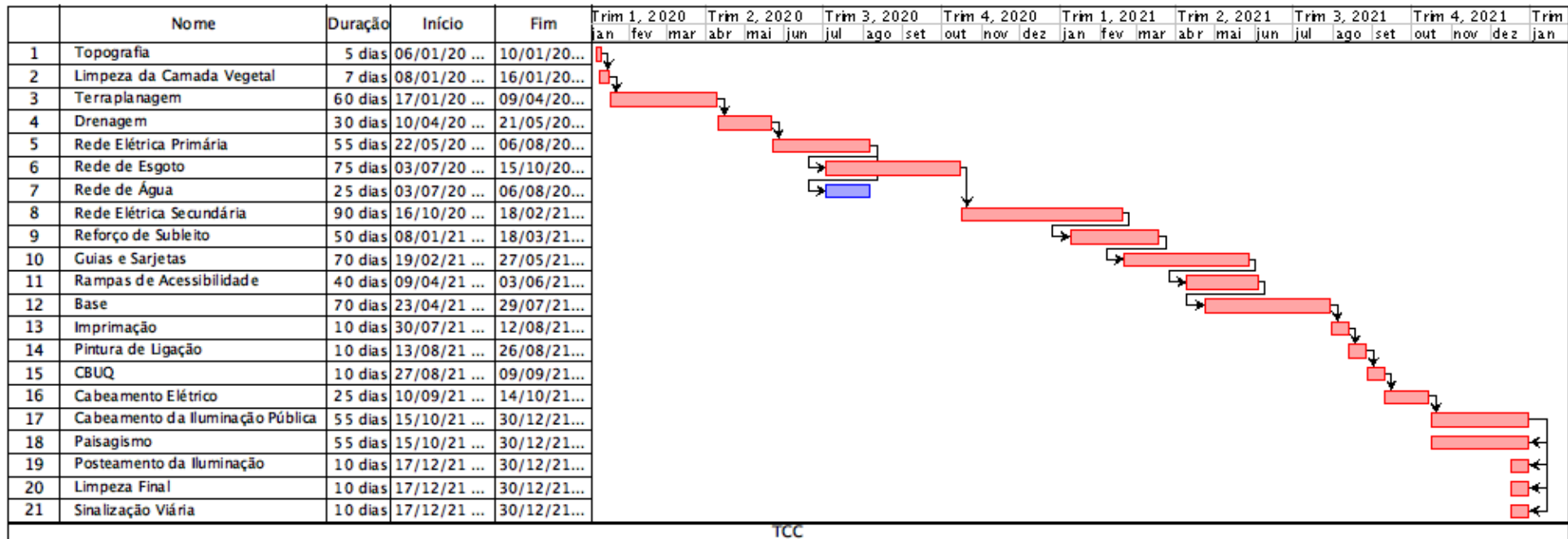


Fonte: Elaboração própria

Como apresentado na Figura 5, foi realizado o planejamento completo utilizando o gráfico de Gantt em uma escala trimestral de controle temporal. Deve-se ressaltar que foi considerada a realização contínua dos trabalhos conforme mencionado anteriormente.

O mesmo cronograma também está disponível para consulta no Anexo 1 do presente trabalho, desta vez em escala de controle temporal semanal.

Figura 5 - Planejamento utilizando o gráfico de Gantt



Fonte: Elaboração própria

4.5. DEFININDO AS SEÇÕES DE TRABALHO

Definir as seções de trabalho é uma das iniciativas dentro do sistema de produção enxuta ligado ao princípio do fluxo contínuo pois, ao reduzir e parcelar os grupos de produção, aumenta-se o número de ciclos deixando a produção mais repetitiva e previsível, logo, mais fácil de se gerenciar e controlar. Assim sendo, o objetivo desta etapa é pensar em formas geométricas dentro do projeto do empreendimento, onde o sequenciamento apresentado no capítulo 4.3 irá caminhar seção por seção (forma por forma). Isso ajuda a balancear as frentes de trabalho dentro do canteiro de obra. Essa forma a ser buscada deve ser o menor lote repetitivo de trabalho possível tendo pouca variação na quantidade de serviço entre elas.

Analogamente a um edifício, as seções de trabalho são enxergadas como os pavimentos tipo, ou seja, são unidades padronizadas de repetição, onde cada atividade mapeada no sequenciamento de atividades, irá levar o mesmo tempo para ser executada. Já em um empreendimento horizontal, essa seção pode ser caracterizada por um trecho de pavimento padrão, ou uma quadra de formato regular.

O método para seccionar o empreendimento compreende o cálculo dos quantitativos da geometria de projeto da seção escolhida, computação de tempos de produção, plotagem de um gráfico de tempo por atividade, a ser apresentado nas próximas fases e o balanceamento das frentes de trabalho usando o cálculo de *Takt*, também a ser apresentado futuramente.

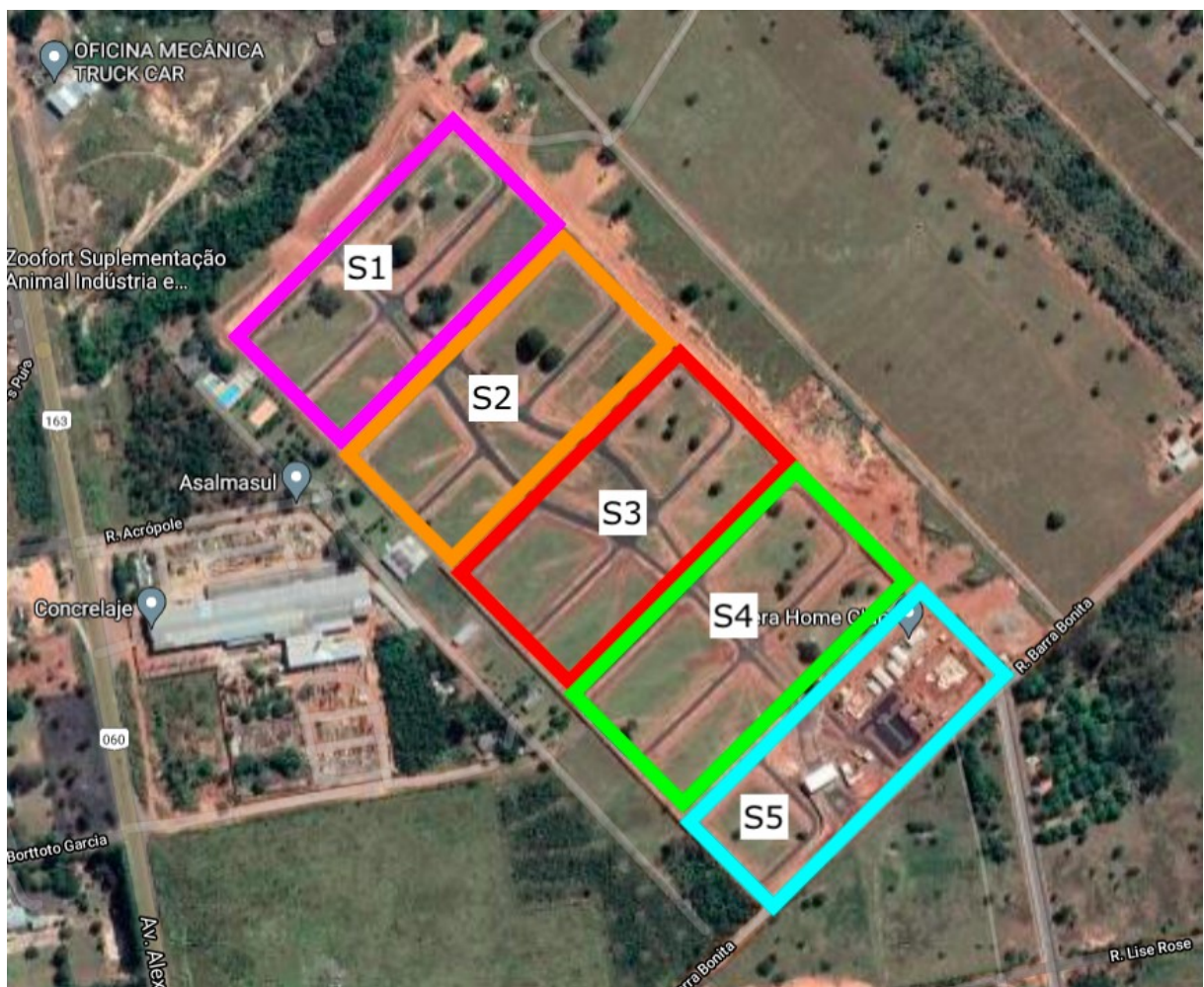
O resultado que se espera ao seccionar o empreendimento é de reduzir a variabilidade da mão de obra, estabilizando a produção. Com isso em mente, observando a particularidade deste estudo de caso, onde a topografia do terreno é mais baixa nos fundos e mais alta na entrada, decidiu-se executá-lo de trás para a frente. Dessa forma as primeiras seções se encontram próximas à área de proteção ambiental (APP) e à bacia de contenção de cheias, e as últimas seções mais próximas da frente do empreendimento onde se localizam a portaria e o clube.

Começar a obra dos fundos para a frente tem como finalidade garantir a qualidade do produto final, uma vez que o trânsito de maquinário pesado pode

danificar os trechos de infraestrutura instalada, portanto, a ideia é de que as equipes de trabalho com seu respectivo maquinário se organizem de forma logística para que se encaminhem para fora do empreendimento a medida que os serviços avançam pela obra.

Após analisar diversos formatos possíveis de seção, observando os quantitativos dos projetos de drenagem, redes de água e esgoto, rede elétrica e também pavimentação, se pôde obter um seccionamento conforme a Figura 6.

Figura 6 - Seções de trabalho



Fonte: Elaboração própria

O fator determinante para se adotar tal formato de seção foi a topografia do terreno, que influencia diretamente no traçado das redes de drenagem pluvial e de esgoto (que tem caimento por gravidade), conforme direção apontada pelas setas representadas na Figura 6.

Figura 7 - Sentido da topografia



Fonte: Elaboração própria

Ou seja, existe uma preponderância de serviços ligados às redes de infraestrutura na parte de superior da Figura 6, em relação a parte inferior, desta forma, o tempo de *Takt* (que será definido em etapas posteriores), deve ser utilizado de forma distribuída e uniforme ao longo de toda a área hachurada de cada seção.

4.6. PRODUTIVIDADE E DIMENSIONAMENTO DE EQUIPE

Para cada uma das atividades mapeadas no item anterior, deve-se levantar os quantitativos dos projetos, dentro de sua respectiva seção e buscar entender quanto tempo leva para se executar cada serviço, chegando assim em uma produtividade estimada.

Nesta etapa tem-se 3 abordagens para levantar as produtividades, são elas:

4.6.1. Dados Oficiais

Busca por dados oficiais como os existentes no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI – Caixa Econômica Federal) ou na Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO – Editora Pini). Entretanto, essas fontes de referência são mais voltadas para execução de serviços na construção de edifícios, e não para obras de infraestrutura, sendo assim, se utiliza como base de dados o Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO - DNIT). O SICRO é utilizado para obras de infraestrutura pois aglutina todo conhecimento técnico necessário à elaboração de orçamentos de obras e serviços no âmbito do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). A partir da disponibilização de custos de referência de serviços e insumos, para os modais rodoviário, aquaviário e ferroviário, além da definição de metodologias e despesas envolvidas na confecção dos orçamentos, o SICRO consta do Decreto nº 7.983/2013 como repositório de informações referenciais para obras de infraestrutura de transportes.

4.6.2. Indicadores Internos

Busca por indicadores internos na empresa, que considera as peculiaridades regionais na ausência de referências no SICRO.

4.6.3. Consultas aos empreiteiros

Consulta à empreiteiros de execução de obras de infraestrutura, desde os trabalhadores do canteiro como operadores de máquinas, mestres de obras até técnicos em segurança do trabalho, engenheiros e especialistas no canteiro de obra. Essa consulta visa validar os valores obtidos em pesquisas no SICRO e via indicadores internos.

Após realizada as três abordagens acerca da produtividade em canteiro de obras, obteve-se a Tabela 1:

Tabela 1 - Produtividades estimadas

ATIVIDADE	UNIDADE	PRODUTIVIDADE ESTIMADA POR DIA	EQUIPES EM CANTEIRO
LIMPEZA DE CAMADA VEGETAL	m ²	5001,7	1
EXECUÇÃO DOS MUROS	m	17	1
EXECUÇÃO DOS GRADIS	m	17	1
DRENAGEM (REDES - INCLUSIVE ESCAVAÇÃO, REATERRO E RAMAIS)	m	65	1
DRENAGEM (PVs)	uni.	0,25	4
TERRAPLENAGEM	m ³	500	1
BACIA DE CONTENÇÃO	m ³	172	1
REDE DE ÁGUA (REDE)	m	140	1
REDE DE ÁGUA (RAMAIS)	uni.	4,5	2
REDE DE ESGOTO (REDE)	m	115	1
REDE DE ESGOTO (RAMAIS)	uni.	6	2
REDE DE ESGOTO (PVs)	uni.	0,5	2
REDE ELÉTRICA SECUNDÁRIA (+ LÓGICA)	m	120	2
EXECUÇÃO DE SUBLEITO	m ²	400	1
GUIAS E SARJETAS	m	160	1
COMPACTAÇÃO NAS COSTAS DOS MEIO-FIOS	m	160	1
ACABAMENTO DOS PASSEIOS	m ²	500	1
EXECUÇÃO DAS BLs (CAIXAS E ACABAMENTOS)	uni.	0,5	4
ACABAMENTO DOS RAMAIS (ÁGUA/ESGOTO)	uni.	4,5	2
ACABAMENTO DOS RAMAIS (ELÉTRICA)	uni.	4,5	2
INSTALAÇÃO E ACABAMENTO DAS CAIXAS (ELÉTRICA)	uni.	1,77	3
EXECUÇÃO DAS RAMPAS DE ACESSIBILIDADE	uni.	0,5	3
EXECUÇÃO DE BASE	m ²	525	1
COMPLEMENTO DOS PV's	uni.	1	1
IMPRIMAÇÃO	m ²	7000	1
TESTE DE DECLIVIDADE/ESTANQUEIDADE DA REDE DE ESGOTO	m	3000	1
PINTURA DE LIGAÇÃO + CBUQ	m ²	2100	1
PAISAGISMO	m ²	200	2
PASSAGEM DO CABEAMENTO (BAIXA TENSÃO)	m	80	1
POSTEAMENTO	uni.	16	1
CABEAMENTO DA ILUMINAÇÃO INTERNA	m	80	1
LIMPEZA	m ²	3500	1
SINALIZAÇÃO VIARIA HORIZONTAL E VERTICAL	m ²	3500	1

Fonte: Elaboração própria

4.7. MONTAGEM DO GRÁFICO DE CONTEÚDOS DE TRABALHO

Após delimitar o escopo do presente trabalho, mapear o processo construtivo, seccionar o projeto do empreendimento e levantar as produtividades de cada uma das atividades mapeadas no processo construtivo, a presente seção de resultados do trabalho é de apresentar a composição de pacotes de frentes de serviços (ou também chamados de vagões, utilizando a analogia do *Takt* como

locomotiva) que passarão pelas seções, balancear e equalizar esses vagões de modo que a Linha de Balanço de todos os vagões seja uniformizada, e por fim expor o resultado do cálculo do tempo de *Takt* de projeto.

Cruzando os quantitativos de projeto com as produtividades estimadas na etapa anterior, e considerando uma composição mínima de equipes de trabalho, chegamos às durações do trabalho por seção, conforme demonstrado na Tabela 2:

Tabela 2 - Durações estimadas por seção

Número de equipes em campo	Frente de serviço	Tempo por seção de trabalho												
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
1	Terraplanagem	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
1	Drenagem	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Rede Elétrica Primária	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Rede de Esgoto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Rede de Água	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	Rede Elétrica Secundária	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Reforço de Subleito	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Guias e Sarjetas	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Rampas de Acessibilidade	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Base	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Imprimação	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Pintura de Ligação	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	CBUQ	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Cabeamento Elétrico	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Cabeamento da Iluminação Pública	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	Paisagismo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Posteamento da Iluminação	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Limpeza Final	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Sinalização Viária	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fonte: Elaboração própria

Percebe-se que existe uma grande variação nas durações conforme cada atividade, tendo algumas atividades com duração de apenas dois dias, como a execução da pintura de ligação, e outras com até 25 dias de duração, que se refere à passagem do cabeamento elétrico.

Sendo assim é necessário fazer um balanceamento das equipes de trabalho, de modo a eliminar as lacunas de execução. Na linha de balanço, essa diferença nas durações das atividades é caracterizada pela inclinação da linha no gráfico. Realizando o balanceamento das atividades, a tendência é de que todas as linhas do gráfico (atividades) adotem a mesma inclinação, ou que a inclinação tenha uma variação menor.

Uma vez balanceadas as equipes de trabalho, pode-se aglutinar as atividades que tenham sinergias técnicas de execução entre si nos mesmos vagões (frentes de trabalhos que passam pelas seções), portanto se expõe abaixo a Tabela 3, com as durações por seção **balanceadas**:

Tabela 3 - Durações balanceadas por seção

Vagão n°	Número de equipes em campo	Frente de serviço	Tempo por seção de trabalho																											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
1	1	Terraplanagem	■																											
	1	Drenagem	■																											
2	1	Rede Elétrica Primária	■																											
	2	Rede de Esgoto	■																											
3	2	Rede de Água	■																											
	2	Rede Elétrica Secundária (1)	■																											
4	2	Rede Elétrica Secundária (2)	■																											
5	2	Reforço de Subleito	■																											
6	1	Guias e Sarjetas	■																											
	1	Rampas de Acessibilidade	■																											
7	1	Base	■																											
	1	Imprimação	■																											
Quebra da locomotiva	1	Pintura de Ligação	■																											
	1	CBUQ	■																											
8	2	Paisagismo	■																											
9	1	Cabeamento da Iluminação Pública	■																											
Quebra da locomotiva	1	Cabeamento Elétrico	■																											
10	1	Posteamento da Iluminação	■																											
11	1	Limpeza Final	■																											
	1	Sinalização Viária	■																											

Fonte: Elaboração própria

Nota-se que o tempo esperado para que cada vagão de atividades passe pelas seções, ou seja, o tempo de *Takt* (comprovado pela Equação 01) é de 12 dias, tendo algumas atividades que conseguem ser realizadas mais rapidamente, em até 9 dias.

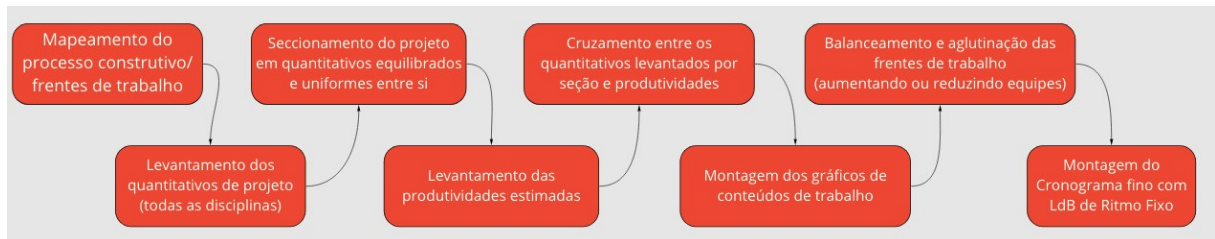
Após analisar os vagões e o sequenciamento das atividades, foi proposta a quebra da locomotiva em duas partes da obra, onde se enxerga na Tabela 3 em laranja. Essas quebras acontecem primeiramente na execução da pintura de ligação e aplicação do CBUQ, pois essa é uma atividade que deve acontecer de forma mais rápida e por somente uma equipe de trabalho, visto que o concreto é usinado a quente e tem um tempo de cura curto. A segunda quebra da locomotiva acontece na passagem do cabeamento elétrico pois é uma atividade que também só pode ser executada por uma equipe de serviço e de forma mais lenta, para evitar o rompimento da fiação dentro da tubulação subterrânea.

Por fim, podemos conhecer qual vai ser o tempo estimado da obra utilizando a Equação 01 apresentada no capítulo 2 – Revisão Bibliográfica. Deve-se somar os números de vagões com o número de seções, menos um, e multiplicá-los pelos dias de *Takt*. Neste caso temos 10 vagões que consomem 12 dias de *Takt*, por cinco seções, mais 2 vagões que consomem 2 dias de *Takt*, também pelas 5 seções, mais duas quebras de locomotiva que somadas representam 35 dias.

Portanto podemos concluir que a obra tem uma duração de 215 dias úteis, sendo 168 dias para as atividades com *Takt* de 12 dias, duas atividades com *Takt* de 2 dias mais os 35 dias de quebra de locomotiva para o CBUQ e passagem do cabeamento.

Para elucidar a técnica de planejamento utilizada até o momento Figura 8 explica de forma objetiva os procedimentos adotados até então.

Figura 8 - Fluxograma da Técnica de Planejamento



Fonte: Elaboração própria

4.8. APRESENTAÇÃO DO CRONOGRAMA FINO DA OBRA COM A LINHA DE BALANÇO COM RITMO FIXO

Com todas as informações das etapas anteriores consolidadas, podemos montar o cronograma fino da obra considerando as linhas de balanço balanceadas já considerando todas as restrições técnicas impostas pelo projeto. O cronograma contendo as linhas de balanço consta parcialmente na Figura 9 e integralmente no Anexo 2 do presente trabalho.

Como pode-se ver no gráfico das linhas de balanço com ritmo fixo apresentado parcialmente na Figura 8 e integralmente no Anexo 2, as atividades se iniciam com a topografia e a limpeza da camada vegetal e na sequência o primeiro vagão (Terraplanagem e drenagem) inicia a primeira seção em 22/01/2020. Todos os outros vagões dão sequência na execução até dia 21/08/2020, onde há a quebra da locomotiva para execução da pintura de ligação e CBUQ. Feito isso, os 4 últimos vagões podem ser realizados da entrada do empreendimento em direção aos fundos, visto que o concreto já teve sua cura e o risco dos caminhões e maquinário danificarem o que já foi feito é reduzido significativamente. A segunda quebra da locomotiva é acompanhada em paralelo às linhas de balanço, visto que só necessita

que o CBUQ esteja executado para se ter início, e leva 25 dias contínuos para ser finalizada. Por fim, é necessário ressaltar que os dois últimos vagões que tem duração reduzida de 2 dias por seção, tem seu vínculo com as atividades predecessoras diferente das demais atividades (término-início), uma vez que é do tipo término-término.

Nesse cenário, considerando a obra executada continuamente sem paradas, respeitando o calendário de feriados e finais de semana, o cronograma aponta finalização em 18/12/2020. Porém, seria imprudente desconsiderar os períodos chuvosos que afetam a obra de infraestrutura, muitas vezes paralisando-a por um ou dois dias após o fim das chuvas, a depender da carga pluviométrica que impactou a obra. Nesse estudo foi considerada a parada de 2 dias em casos de chuva superior a 15 mm, um dia de paralização para chuvas entre 5 e 15 mm e a não paralização da obra para chuvas inferiores a 5 mm.

Sendo assim, buscando dados pluviométricos históricos para o município de em questão no estado do Mato Grosso do Sul (MS), pôde se auferir um *buffer* de amortecimento do cronograma de 88 dias corridos (64 dias úteis). Desta forma, a obra em seu pior cenário se encerraria em 19/03/2021.

4.9. RESULTADOS

A nona seção dos resultados do presente trabalho sintetiza todo o estudo e apresenta um apanhado geral do que foi realizado. O resultado esperado no trabalho que era de reduzir o prazo inicialmente estabelecido em 24 meses de uma obra de infraestrutura urbana em pelo menos 15%, foi atingido conforme se observa o planejamento realizando em gráfico de Gantt no item 4.3 e comparando-o com o cronograma fino da obra após a implantação do *Takt* no item 4.8.

Após a comparação dos resultados apresentados nos capítulos 4.4 e 4.8 do trabalho onde percebe-se a redução e detalhamento do prazo do cronograma macro de 24 para 14 meses (considerando o uso integral dos *buffers*), resultando em uma redução de 42% no prazo para entrega da obra.

Desconsiderando o uso do *buffer* esse prazo pode chegar em 12 meses, ou seja, uma redução de 50% em relação ao prazo inicial. No entanto não é indicado considerar essa redução, pois esse tempo de segurança foi dimensionado conforme o histórico de chuvas na região, conforme citado anteriormente, e mesmo tendo um ano inteiro sem chuvas, o que é improvável, podem ocorrer desvios por falta de insumos, pela quebra de maquinário ou ainda pela falta de mão de obra por exemplo.

Atingir tal resultado foi possível por meio do seccionamento do empreendimento em 5 partes com volumes de trabalho equivalentes, do mapeamento de todo o processo de produção de uma obra de loteamento e também por meio do balanceamento das frentes de trabalho montando as locomotivas de atividades que passarão pelas seções.

Como o *Takt* é uma ferramenta trazida do Sistema Toyota de Produção, ela está estreitamente conectada com os conceitos e princípios da filosofia enxuta. Um desses princípios é o conceito de *Kaizen*, que significa a melhoria contínua de um fluxo completo de valor ou de um processo individual, a fim de se agregar mais valor com menos desperdício (ARAÚJO e RENTES, 2006).

Com isso em mente, algumas intervenções podem ser feitas durante o planejamento de uma obra de infraestrutura para acelerar a produção e ganhar tempo ao longo da obra.

Uma possível intervenção é a elaboração de instruções de trabalho para cada serviço dentro dos vagões bem como o treinamento das equipes conforme as instruções preconizam a execução. Essa ferramenta balizará e orientará os operários em suas atividades em caso de dúvidas executivas, bem como auxiliará os supervisores de obra na fiscalização dos serviços.

Outra possível intervenção está em documentar os dias, máquinas paradas e motivos para essa parada de forma a facilitar a composição de indicadores futuros para dimensionamento de *Buffers*, bem como entender quanto de sobre custo pode incorrer sobre o orçamento do projeto como resultado das paradas da obra.

5. CONCLUSÃO

Como se demonstrou no capítulo 4 – Resultados, conclui-se que o objetivo do trabalho, que era analisar comparativamente o uso da Linha de Balanço com Ritmo Fixo com a elaboração do planejamento usando o gráfico de Gantt no caso de uma obra de infraestrutura urbana, foi atendido de forma bem-sucedida.

Os objetivos específicos do trabalho também foram atingidos tendo em vista que o mapeamento do processo de produção foi demonstrado no item 4.3 – Mapeamento dos processos construtivos, os softwares que possibilitam a condução da metodologia foram apresentados no capítulo 2 – Revisão Bibliográfica. A realização de simulações de cenários dentro do espaço de tempo disponível para a execução do empreendimento foi apresentada ao final do item 4.8 - Apresentação do cronograma fino da obra com a linha de balanço com ritmo fixo, e as contribuições entre as metodologias são apresentadas adiante, neste capítulo de conclusões.

Ao final deste estudo de caso, se denota que a utilização da metodologia *Takt*, é benéfica e enriquece o planejamento de uma obra de infraestrutura urbana, visto que ela complementa e detalha o cronograma feito da maneira tradicional em gráfico de Gantt.

Isso ocorre, pois, o planejamento elaborado com o gráfico de Gantt ficou um pouco vago, deixando lacunas que geram questionamentos durante a obra. Já o planejamento realizado com a Linha de Balanço com Ritmo Fixo pôde delinear o cronograma semana a semana, seção por seção de trabalho dentro do canteiro e trouxe uma possibilidade de ganho expressiva comparando o resultado final. Conforme demonstrado no capítulo anterior, foi feita a análise de resultados do trabalho apresentando expressivos 42% de ganho.

No entanto, conclui-se também que poderia ter sido feito o seccionamento do empreendimento antes de montar o cronograma via gráfico de Gantt, pois como preconiza a literatura, controlar a produção por meio de pequenos e repetitivos ciclos resulta em uma melhora significativa em produtividade, reduzindo o tempo dos ciclos e reduzindo inclusive o desperdício. Sendo assim, acredita-se que somente realizando esse ajuste ao trabalho seria possível enxergar alguns ganhos no planejamento.

Comparando as duas maneiras de planejar a obra, se percebe a LdB como uma forma de ajudar na verificação do ritmo de produção de forma visual e, conseqüentemente imputar uma velocidade de execução da obra. O uso da LdB também deixa para a gestão uma forma mais clara de visualizar onde existem folgas, buffers, intervalos ou conflitos entre as frentes de trabalho. Essa visualização permite uma colaboração entre os envolvidos no planejamento no sentido de propor reduções ou aumentos na duração das tarefas ajustando a velocidade de execução e a quantidade de mão de obra, além de motivar os participantes da obra no dia a dia, dando organização e facilidade na visualização das tarefas (premissas trazidas da filosofia enxuta).

Com isso, pode-se dizer que as conclusões corroboram com as justificativas apresentadas na introdução, mostrando que uma obra bem planejada e bem administrada pode gerar ganhos reais em tempo, recursos financeiros e humanos ao longo da obra. Isso reitera que a aplicação de boas práticas na engenharia pode gerar mais empregos, e influenciar a macroeconomia, garantido um aumento do PIB e da renda para o país.

Fazendo uso do conceito de *Kaizen*, e sempre buscando a melhoria da qualidade, recomenda-se a continuidade do presente estudo de caso aplicando ferramentas de gestão em canteiro de obras de modo que além de planejar, possa-se controlar a produção podendo implicar em mais ganhos na produtividade.

Uma hipótese de continuidade do presente trabalho está na integração do planejamento com tecnologias ligadas ao *Building Information Modelling* (BIM), visando a conexão entre projeto compatibilizado entre as disciplinas, cronograma e orçamentação da obra.

Ou ainda, o desenvolvimento de uma análise probabilística para dimensionamento dos *buffers* de amortecimento do cronograma por afetação das variações climáticas. Dessa forma seria possível um refinamento do dimensionamento desse *buffer*, permitindo mais uma redução do prazo de obra.

REFERÊNCIAS

ABDALLAH, L. FERNANDES, G. SOUAD, S.B. A conceptual hybrid project management model for construction projects. CENTERIS – International Conference on Enterprise Information Systems. Revista **Procedia Computer Science**, v.18, p.921–930, 2020.

ALENCAR, L. B. S. de. Avaliação do impacto do uso da técnica de linha de balanço no gerenciamento da cadeia de suprimentos em obras de rodovia. 2018. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. ARANTES, P.C.F.G. Lean Construction – Filosofia e Metodologias. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2008, 108p.

ARAUJO, C.A.C. RENTES, A. F. A Metodologia Kaizen Na Condução De Processos De Mudança Em Sistemas De Produção Enxuta. **Revista Gestão Industrial**, v. 02, n. 02: p.133-142, São Carlos, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002. (modelo de referência com autoria coletiva)

BINNINGER, M. et al. Short takt time in construction – a practical study. **26th annual conference of the international group for lean construction**, 18–20 July 2018 Chennai, India, p. 1133–1143. 2018.

BULHÕES, I.R. PICCHI, F.A. e FOLCH, A.T. Actions to implement continuous flow in the assembly of prefabricated concrete structure. **14th Annual Conf. of the Int'l. Group for Lean Constr. (IGLC 14)**, Santiago, Chile, 2006.

CAMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA. Construção civil é a locomotiva do crescimento, com emprego e renda. 2020. Disponível em: <https://cbic.org.br/pt_BR/posicionamento-cbic-construcao-civil-e-a-locomotiva-do-crescimento-com-emprego-e-renda>. Acesso em: 17 ago. 2020.

CORREIA, J. V. F. B. Contextualização dos Princípios da Construção Enxuta: Aplicação da Filosofia Enxuta do Sistema Toyota de Produção na Indústria da Construção Civil em Exemplos Práticos. **Ciências exatas e tecnológicas**, v. 4, n.3, p. 29-38, Aracaju, abril 2018.

DEPEXE, M. D.; MELO, M. C. de; DORNELES, J. B.; KEMMER, S. L.; HEINECK, L. F. M. Aplicação das práticas da Linha de Balanço segundo os princípios da Lean Construction. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, p. 11, Florianópolis. Anais. Florianópolis, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

DIEHL, C. H. Integração Dos Métodos Critical Path E Last Planner System Para A Gestão Do Projeto De Edificações: Um Estudo De Caso. Universidade do Vale do Taquari – Univates, 2017.

FERNANDEZ, Alain. Planifier et ordonnancer le projet. 07/12/2018. Disponível em: < <https://www.piloter.org/projet/methode/planifier-ordonnancer.htm> >. Acesso em: 02 de abril de 2021. FONTANINI, P.S.P. ;PICCHI, F. A.. Mentalidade enxuta na cadeia de fornecedores da construção civil: aplicação de macro-mapeamento. **Simpósio Brasileiro De Gestão Da Qualidade E Organização Do Trabalho No Ambiente Construído – Sibragec**. Anais. São Carlos, 2003.

FONTANINI, P.S.P. ;PICCHI, F. A.. Mentalidade enxuta na cadeia de fornecedores da construção civil: Aplicação De Macro Mapeamento Na Cadeia De Fornecedores De Esquadrias De Alumínio. **Simpósio Brasileiro de Engenharia de Produção – SIMPEP**. Anais. Bauru, 2005.

FRANDSON, A. BERGHEDE, K. TOMMELEIN, I. Takt Time Planning For Construction Of Exterior Cladding, Universidade da California, Berkley, California, Estados Unidos, 2013.

GARDARSSON, M. H. LÆDRE, O. e SVALESTUEN, F. Takt Time Planning In Porsche Consulting, The Boldt Company And Veidekke. **Proc. 27th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction (IGLC)**, p. 551-562. Dublin, Irlanda. 2019.

GIL, A. C. Métodos de Pesquisa Social, Sexta ed. **Atlas**, São Paulo, 2008.

GREHNO, L. F. S. Last-Planner System e Just-in-Time na Construção. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2009, 126p.

HOPP, W.J. e SPEARMAN, M.L. Shop Floor Control. Factory Physics, **Waveland Press**, Long Grove, Illinois, Estados Unidos. p. 495. 2008

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PIB da construção sobe 1,6% em 2019 após cinco anos no vermelho. 2020. Disponível em: < <https://www.aecweb.com.br/revista/noticias/pib-da-construcao-sobe-16-em-2019-apos-cinco-anos-no-vermelho/19793>>. Acesso em: 16 ago. 2020.

KEMMER, S. L. Análise de Diferentes Tempos de Ciclo na Formulação de Planos de Ataque de Edifícios de Múltiplos Pavimentos. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2006.

KOSKELA, L. Application of the New Production Philosophy to Construction. Technical Report, Finland: CIFE, 1992.

LEHTOVAARA, J. SEPPÄNEN, O. PELTOKORPI, A. KUJANSUU, P. GRÖNVALL, M. How takt production contributes to construction production flow: a theoretical model, **Construction Management and Economics**, 39:1, p. 73-95, 2020.

LIKER, J.K. O Modelo Toyota: 14 Princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre. Bookman, 2005.

LOSSO, I. R.; ARAÚJO, H. N. Aplicação do método da linha de balanço: estudo de caso. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 6., 1995. Anais. Rio de Janeiro, RJ, 1995. p. 149 – 154.

OHNO, T. Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala. Porto Alegre, **Bookman**, 1997.

MAZIERO, L. T. P. Aplicação do conceito do método da linha de balanço no planejamento de obras repetitivas. Um levantamento das decisões fundamentais para sua aplicação. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 1990.

MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e controle de obras**. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MENDES JÚNIOR, R. Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos. 221p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 1999.

MONLLOR, N. P. Proposição de Modelo para Aprimorar o Planejamento e Controle no Processo de Projeto. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. Porto Alegre, 2016.

MOURA, R. S. L. M. e HEINECK, L. F. M. Linha de Balanço – Síntese dos Princípios de Produção Enxuta Aplicados à Programação De Obras. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 2014. Anais. Maceió AL. p.1358 – 1367.

NEZVAL, J. OLONSCHEK, E. WALTER, R. Grundlagen der fließfertigung in der bauproduktion: bearb. von e. olon- schek: aus dem Tschech (Fundamentals of flow production in construction). Berlin. 1960.

PACHECO, M. T. G. Redução do tempo de atravessamento através da redução do tempo de ciclo em programação por linha de balanço mediante a escolha da unidade de repetição sobre influencia do efeito aprendido: Uma visão enxuta. Dissertação: Mestrado em Engenharia Civil (Construção Civil) UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006, 94p.

PICCHI, F.A Lean principles and the construction main flows. **Conference Of The International Group For Lean Construction**, p. 8., Brighton, UK. Proceedings. Brighton: IGLC, 2000.

PICCHI, F.A Oportunidades da aplicação do Lean Thinking na construção. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre (RS), v. 3, n. 1, p. 7-23, jan./mar. 2003.

PFÄFFENZELLER, M.S.; SILVA, G.G.M.P.; BARROS, A.L.; SHINJI, G.; SALLES, M.P.; Lean Thinking na Construção Civil: Estudo da Utilização de Ferramentas Lean

em Diferentes Fluxos da Construção Civil. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, SC, Brasil, v. 7, n. 14, p. 86-107, 2015.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE Um guia do conhecimento em gerenciamento em projetos (guia PMBOK). **Project Management Institute** – 6ª. Ed. – São Paulo, Saraiva, 2017.

ROTHER, M.; HARRIS, R. Creating continuous flow. 1 ed. **Lean Enterprise Institute**. U.S.A. 104 pp. 2002.

ROTHER, M. e SHOOK, J. Aprendendo a Enxergar. Tradução de José Roberto Ferro e Telma Rodriguez. São Paulo: **Lean Institute Brasil**, 2000.

RUSSOMANO, V. H. PCP Planejamento e Controle da Produção. São Paulo: **Editora Pioneira**, 2000.

SANTOS, Aguinaldo dos; POWELL, James Alfred. Reduction of cycle time through smaller batch sizes in English and Brazilian construction sites. Proceedings: **CIB World Building Congress**, Wellington, Nova Zealândia, Abril, 2001.

SHINGO, S. O Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre: **Bookman**, 1996.

SUHAIL, Saad A.; NEALE, Richard H. CPM/LOB: New methodology to integrate cpm and line of balance. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 120, n.3, p. 667-684, September 1994.

TOMMELEIN, I.D. Collaborative takt time planning of non-repetitive work. **25th annual conference of the international group for lean construction**, 9–12 July 2017 Heraklion, Grécia, p. 745–752. 2017

TUBINO, D. F. Manual de Planejamento e Controle da Produção. São Paulo: **Atlas**, 2000.

VARGAS, R. V. Gerenciamento de projetos: estabelecendo diferenciais competitivos. 6 ed. Rio de Janeiro: **Brasport**, 2005.

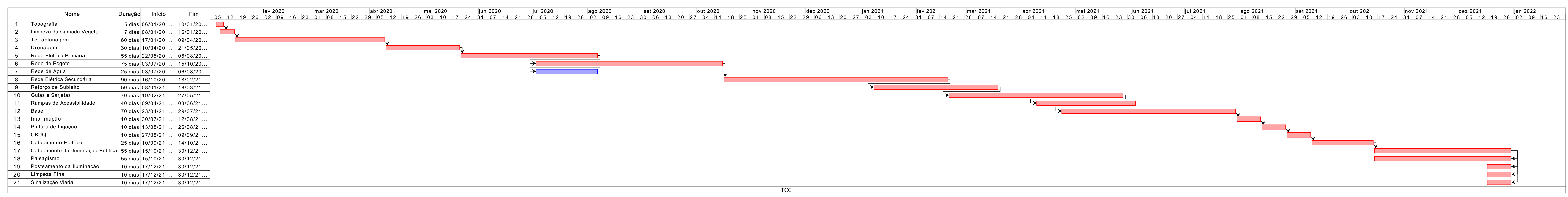
WESZ, J. Planejamento e Controle do Processo de Projeto de Sistemas Pré Fabricados em Ambientes de Engineer-to-order. 2013.

WISE, D. Informing Design Decisions. In: POWELL, P.; BRANDON, P. Building Design, Quality, Cost and Profit. 1984. WOMACK, J.P. JONES, D.T.; ROOS, D. A máquina que mudou o mundo. 3ª edição. Rio de Janeiro, 1992. 347 p.

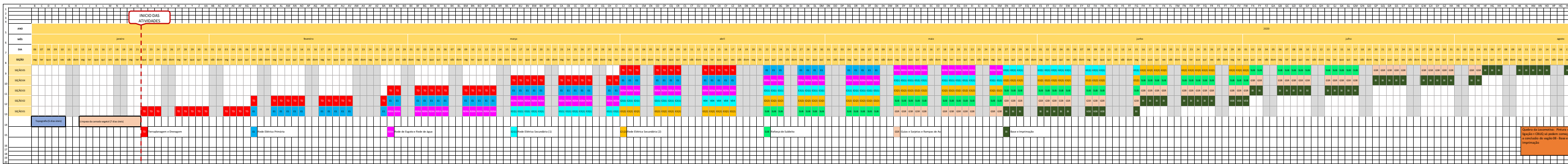
WOMACK, J.P. JONES, D.T. A mentalidade enxuta nas empresas – Elimine desperdícios e crie riquezas. Rio de Janeiro; Campus, 1998.

WOMACK, J.P. The challenge of value stream management. **LEAN ENTERPRISE INSTITUTE VALUE STREAM MANAGEMENT CONFERENCE**, 2000, Dearborn, MI Proceedings. Dearborn (MI): Lean Enterprise Institute, 2000.

ANEXO 1



ANEXO 2



INICIO DAS ATIVIDADES

ANO	2020																																																																																																																																																																																																																								
MÊS	janeiro							fevereiro							março							abril							maio							junho							julho							agosto																																																																																																																																																																							
DIAS	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																															
SEMANA	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

Trabalho de aula (atual) | Emprego de combate a dengue (17 dias úteis) | Atendimento a crianças | Atividade Educacional | Atividade de Registro e Tarefas de Apoio | Atividade Educacional (2) | Atividade Educacional (3) | Fórum de Saúde | Atividade de Saúde e Registro de Atividade | Atividade de Registro | Quadro de acompanhamento: Proliferação de Aedes e Dengue no período compreendido no relatório. Base de Registração

Quadro de acompanhamento: Proliferação de Aedes e Dengue no período compreendido no relatório. Base de Registração

