

## Método para implementação do trabalho padronizado como elemento adicional do planejamento e controle baseado em localização

*Method for implementing standardized work as an additional element of location-based planning and control*

Fabiana Maria Bonesi-De Luca 

Fabício Berger de Vargas 

Carlos Torres Formoso 

Iamara Rossi Bulhões 

### Resumo

**T**rabalho Padronizado (TP) é uma abordagem originária da indústria da manufatura que visa a padronizar e melhorar a eficiência dos ciclos de operações com base na Filosofia da Produção Enxuta. O TP tem o potencial de apoiar a implementação do Planejamento e Controle Baseado em Localização (LBPC), pois permite equilibrar a carga de trabalho entre os trabalhadores ou equipes, contribuindo para a sincronização de processos. O objetivo deste estudo foi desenvolver um método para implementação do TP como um elemento adicional do LBPC. *Design Science Research* foi a abordagem metodológica utilizada, sendo conduzido um estudo empírico em uma empresa atuante no mercado imobiliário, na qual o método para implementação do TP foi concebido e implementado. Os seguintes benefícios foram identificados no estudo: aumento do grau de padronização das operações, melhoria na sincronização entre processos, aumento do engajamento da mão-de-obra com padrões de processo, e melhoria em termos de confiabilidade em relação a prazos. A principal contribuição desta pesquisa para o avanço do conhecimento foi a adaptação da abordagem do TP ao contexto da construção civil como um elemento adicional do LBPC.

**Palavras-chave:** Trabalho padronizado. Planejamento e controle baseado em localização. Takt time.

### Abstract

*Standardized Work (SW) is an approach originated in the manufacturing industry, which aims to standardize and improve the efficiency of operations cycles, based on the Lean Production Philosophy. SW has the potential to support the implementation of Location-Based Planning and Control (LBPC) as it allows balancing the workload between workers or teams, contributing to the synchronization of processes. The aim of this study is to propose a method for implementing SW as an additional element of LBPC. Design Science Research was the methodological approach adopted in this investigation and an empirical study was carried out in a real estate company, in which the method for implementing SW was conceived and implemented. The following benefits were identified in the study: increase in the degree of process standardization, improvement in process synchronization, increase in the engagement of the work force with process standards, and improvement in terms of time reliability. The main contribution of this research study has been the adaptation of SW in the construction context as an additional element of LBPC.*

**Keywords:** Standardized work. Location-based planning and control. Takt time.

<sup>1</sup>Fabiana Maria Bonesi-De Luca  
<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre - RS - Brasil

<sup>2</sup>Fabício Berger de Vargas  
<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre - RS - Brasil

<sup>3</sup>Carlos Torres Formoso  
<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre - RS - Brasil

<sup>4</sup>Iamara Rossi Bulhões  
<sup>4</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Tramandaí - RS - Brasil

Recebido em 12/04/23  
Aceito em 19/10/23

## Introdução

Os empreendimentos de construção possuem diversas peculiaridades, que se constituem em fonte de incerteza e variabilidade, tais como, natureza única do produto, organizações temporárias, produção no local de uso, entre outras (Koskela, 2000). A variabilidade pode impactar negativamente no desempenho dos sistemas de produção, interrompendo o fluxo de trabalho, gerando consequências prejudiciais em termos de custo, duração e qualidade do empreendimento (Hamzeh *et al.*, 2007). Nesse contexto, muitas empresas de construção apresentam limitações quanto aos seus sistemas de planejamento e controle da produção (PCP), resultando em obras com falta de previsibilidade, grande rotatividade e ocorrência de improvisações (*making-do*), problemas que estão fortemente relacionados à variabilidade nos processos de produção (Deschamps *et al.*, 2015).

A padronização é apontada como um dos principais mecanismos de gestão para a redução da variabilidade no processo produtivo (Saffaro, 2007). Na Filosofia da Produção Enxuta (*Lean Production*), originária na indústria da manufatura, existe uma grande ênfase na padronização aplicada no nível operacional, realizada com envolvimento dos trabalhadores (Martin; Bell, 2011) denominada de Trabalho Padronizado (TP) (LIB, 2003). O TP é um procedimento orientado à ação, no qual são definidos os passos detalhados que são necessários para um ciclo de operações (Ohno, 1997). Esses procedimentos levam à padronização, e estabelecem uma referência para a melhoria contínua (Liker, 2004). Contudo, segundo Saffaro, Silva e Hirota (2008), a padronização é normalmente abordada na construção civil de uma forma distinta em comparação à abordagem associada à *Lean Production*. Para os referidos autores, os procedimentos padronizados são frequentemente interpretados como uma forma fixa de se executar uma atividade, dando pouca ênfase à melhoria contínua.

Conforme Alvarez e Antunes (2001), o tempo *takt* é definido a partir da demanda do mercado e do tempo disponível para produção: é o ritmo de produção necessário para atender a demanda. Ohno (1997) sugere que existem três elementos necessários para a definição do TP: tempo *takt*, sequência padrão das operações e estoque padrão. A sequência padrão de operações refere-se às atividades executadas por um trabalhador ou equipe ao longo do tempo de ciclo (Monden, 2011). O estoque padrão refere-se à quantidade mínima de itens necessários para executar um processo, permitindo ao(s) funcionário(s) trabalhar(em) com eficiência (Ohno, 1997). Em virtude da variabilidade existente na construção, Fireman, Saurin e Formoso (2018) sinalizaram a necessidade de definir folgas ao projetar o TP para qualquer atividade da construção civil.

O *takt time* tem sido fortemente relacionado ao Planejamento e Controle Baseado em Localização (*Location Based Planning and Control* – LBPC), que pode ser definido como uma abordagem de PCP que torna explícito os fluxos de produtos e de trabalho (trabalhadores), levando em consideração a disponibilidade e limitações de espaço (Ballard; Tommelein, 2021). O *Takt Time Planning* (TTP), por sua vez, corresponde a um tipo específico de abordagem LBPC, e tenta sincronizar processos por meio de reuniões de planejamento colaborativo (Binnering; Dlouhy; Hagsheno, 2017). O objetivo do TTP é identificar processos que podem ser considerados como repetitivos e equilibrá-los para permitir um fluxo estável e uniforme, sendo que o tempo *takt* tem um papel chave na sincronização de processos (Binnering; Dlouhy; Hagsheno, 2017).

O TP traz os benefícios da padronização das operações (LIB, 2003) e permite a sincronização dos processos, ou seja, faz com que os processos tenham tempo de ciclo similares, permitindo criar o fluxo contínuo (Rother; Harris, 2016).

Nesse sentido, verifica-se que o tempo *takt* é um elemento em comum que se manifesta tanto no TP como no LBPC. Observa-se, contudo, que a literatura sobre TTP não aborda o TP como meio necessário para que a sincronização aconteça (Frandsen; Berghede; Tommelein, 2013; Frandsen; Tommelein, 2014; Tommelein; Emdanat, 2022). Por outro lado, embora o TP seja um dos aspectos mais importantes da *Lean Production*, ainda é subutilizado na indústria da construção (De Bortoli *et al.*, 2017). Além disso, estudos que abordam o TP na construção (De Bortoli *et al.*, 2017; Mariz 2012) não exploraram a integração deste com o planejamento e controle da produção.

Assim, esta pesquisa teve como objetivo principal propor um método para implementação do TP como um elemento adicional do LBPC. Como objetivos secundários, este estudo buscou:

- (a) adaptar os elementos do TP, desenvolvidos para indústria da manufatura, para o contexto da construção de edifícios; e
- (b) analisar o papel dos diferentes tipos de folga como um elemento do TP, para proteger a produção do impacto nocivo da variabilidade.

## Referencial teórico

### Conceitos básicos da *Lean Production*

A filosofia da Produção Enxuta está fundamentada em um conjunto de conceitos de gestão da produção, os quais são fundamentalmente diferentes da forma tradicional de gestão, baseada na produção em massa (Koskela, 2000; Bulhões, 2009). A seguir, são apresentados alguns destes conceitos, que são relevantes para o presente trabalho.

#### Processo e operação

Para Shingo (1996), a produção é uma rede formada por processos e operações. O referido autor faz a seguinte distinção:

- (a) processo: refere-se ao fluxo de produtos de um trabalhador para outro, ou seja, as etapas pelas quais as matérias-primas passam para se tornarem produtos acabados; e
- (b) operação: refere-se ao estágio no qual um trabalhador pode trabalhar em diferentes produtos, ou seja, um ciclo de tarefas realizadas por um operador ou máquina.

Com base nos conceitos de processo e operação, pode-se caracterizar dois tipos de fluxo de produção:

- (a) fluxo contínuo: diz respeito ao produto, no qual a produção de uma peça ou um lote pequeno de itens é realizada por vez, sendo que o item passa de um processo para o seguinte, sem interrupção (Rother; Shook, 1999); e
- (b) fluxo ininterrupto: diz respeito às operações, visando a que as equipes de trabalho sejam utilizadas ininterruptamente, na medida em que se movem continuamente de um local para outro e sem que tenham que ficar esperando por trabalho (Harris; Ioannou, 1998).

No contexto da construção civil, Faloughi *et al.* (2015) afirmam que, se possível, deve-se tanto eliminar 'trabalhadores esperando pelo trabalho', quanto eliminar 'trabalho esperando pelos trabalhadores', ou seja, o ideal é alcançar a sincronização dos processos, estabelecendo uma produção ininterrupta e contínua.

#### Perda

Perdas são recursos utilizados desnecessariamente em atividades que não agregam valor ao produto final (Shingo, 1996). Nesse sentido, Ohno (1997) propôs sete categorias de perdas: estoque, transporte, superprodução, defeito, espera, movimentação e processamento.

Perdas como *making-do*, trabalho em progresso (*work in progress* - WIP) e falta de terminalidade têm sido apresentadas como os principais tipos de perdas no contexto da construção civil (Koskela, 2004; Bashford *et al.*, 2003; Fireman; Formoso; Isatto, 2013). Segundo Formoso, Bolviken e Viana (2020), tais perdas estão fortemente relacionadas ao conceito de lote de produção, o qual se refere à realização dos processos em cada unidade de produção (ou controle).

Segundo Koskela (2004), *making-do* é um tipo de perda que ocorre quando a tarefa é iniciada ou continuada sem que todos os recursos necessários para sua execução estejam disponíveis. A importância de apenas iniciar a atividade quando todos os requisitos estiverem atendidos foi apontada por Ronen (1992). O mesmo autor propõe o conceito de *kit* completo, que consiste em um conjunto de recursos para realização de uma tarefa, tais como:

- (a) materiais e componentes; mão de obra;
- (b) máquinas e equipamentos;
- (c) informações;
- (d) tarefas pré-requisito; e

espaço e condições externas.

Iniciar uma atividade com um *kit* incompleto pode levar a *lead times* mais longos, maior volume de WIP, mais retrabalho, piora da qualidade e dos prazos de entrega, menor produtividade e menor motivação dos funcionários (Ronen, 1992).

O trabalho em progresso é um estoque de produto inacabado, resultante de zonas de trabalhos esperando os processos subsequentes (Bulhões, 2009; Saffaro, 2007) ou frentes de tarefas muito extensas (Bashford *et al.*,

2003). A ocorrência do WIP pode estar relacionada às interrupções nos fluxos de trabalho, causados por grandes lotes de produção, à elevada variabilidade nos processos e à falta de sincronização (Bulhões, 2009).

A falta de terminalidade, também denominada trabalho inacabado, corresponde às tarefas que são deixadas para depois quando uma equipe deixa um local de trabalho (Fireman; Formoso; Isatto, 2013). Há diferentes possíveis causas para a falta de terminalidade, tais como: falhas no controle da qualidade da produção, falta de mão de obra qualificada, indisponibilidade de materiais e inadequação dos materiais entregues (Leão; Isatto; Formoso, 2016).

### Slack

Entre os mecanismos para proteger a produção do impacto nocivo da variabilidade, destaca-se a utilização de *buffers* de tempo, capacidade ou estoque no PCP, sendo que estudos mais recentes têm sugerido a utilização de uma gama mais abrangente de recursos, chamados de *slack* (Formoso *et al.*, 2021). Entende-se por *slack* um conjunto de recursos disponíveis ou potencialmente utilizáveis, que podem ser usados em momentos de necessidade, permitindo que uma organização se adapte com sucesso às pressões internas ou externas (Bourgeois, 1981). *Slack*, também chamado de folga, pode ser implementado através da adoção de medidas planejadas com antecedência ou definidas de forma oportunista, isto é, quando um recurso é utilizado como folga, apesar de esse não ser seu propósito original (Formoso *et al.*, 2021; Righi; Saurin, 2015). Além disso, as estratégias de implementação dos recursos de folga são classificadas em redundância e flexibilidade, sendo que a redundância implica excesso, ou seja, recursos adicionais que são disponibilizados, enquanto a flexibilidade está relacionada ao fato de que vários recursos podem ser usados de diferentes maneiras (Formoso *et al.*, 2021). Fireman *et al.* (2023) apresentam *slack* como um complemento de *buffer*, uma vez que passa a considerar aspectos sociais para lidar com a variabilidade. Segundo os referidos autores, no contexto dos empreendimentos de construção, *slack* é necessário e contribuir para a gestão de riscos no PCP.

### Trabalho padronizado

Na filosofia da Produção Enxuta, dá-se muita ênfase à padronização das operações, ou seja, na sequência de tarefas realizada por meio de cada trabalhador: aqueles que realizam o trabalho devem projetá-lo, contribuindo para a definição dos próprios procedimentos (Liker, 2004). Para Spear e Bowen (1999), a especificação do trabalho no STP constitui-se na hipótese da melhor prática, que deve ser constantemente testada com a participação dos trabalhadores. Para os referidos autores, os benefícios dessa prática são o estabelecimento da base para a aprendizagem organizacional e melhoria gradativa do TP. Para Ohno (1997), o TP contribui para aumentar a estabilidade do processo, de tal forma que seja cumprido regularmente um tempo de ciclo adequado à demanda do cliente, definida pelo tempo *takt*. A execução de tarefas dentro do tempo determinado é alcançada na medida em que se obtém um profundo conhecimento do trabalho a ser executado (Liker; Meier, 2007).

Para a elaboração do TP, LIB (2003) e Rother e Harris (2016) sugerem o uso de um conjunto de documentos básicos (Quadro 1), a serem empregados tanto por engenheiros e supervisores, para projetar ciclo de operações, quanto pelos operadores, como referência para fazer melhorias em suas próprias tarefas.

Apoiando-se nesses documentos e nos elementos do TP, assim como adaptando os passos sugeridos por Rother e Harris (2016) de como implementar o TP na manufatura, Mariz (2012) propôs um método para aplicação do TP no setor da construção civil, o qual era focado em trabalhadores individuais, sem necessariamente fazer vínculo com LBPC. Fazinga (2012), por sua vez, buscou compreender as particularidades do setor da construção civil que influenciam o conteúdo do TP e constatou que, devido ao longo tempo de ciclo dos processos da construção, o tempo *takt* nesse setor assume uma abordagem diferente da manufatura, não sendo diretamente utilizado como um parâmetro de controle para a evolução da produção. Assim, a referida autora sugere o estabelecimento de pontos de monitoramento em relação ao tempo de produção. Além disso, o conceito de estoque padrão para a construção foi associado a restrições, tais como, o compartilhamento de recursos e condições específicas requeridas para que um material ou componente possa ser utilizado (Fazinga, 2012).

### Planejamento e controle baseado em localização

A origem do LBPC foi o uso de técnicas para representar planos em diagramas tempo-espço (Kenley; Seppänen, 2010). Nos anos 40, a técnica de planejamento de Linha de Balanço (LOB) foi desenvolvida pela *Goodyear*, e foi objeto de várias pesquisas nas décadas de 1960 e 1970 (Kenley; Seppänen, 2010).

Quadro 1 - Documentos do trabalho padronizado

Documento	Descrição	Referência
Folha de Estudo de Processo (FEP)	Planilha que auxilia na coleta de tempos de um processo, por meio de cronometragem e identificação de cada elemento de trabalho. Ao final, esse documento gera o tempo de ciclo do processo.	LIB (2003)
Gráfico de Balanceamento do Operador (GBO)	Quadro com a descrição da distribuição da carga de trabalho entre os funcionários, relacionados ao tempo <i>takt</i> , baseado em dados reais observados e registrados na FEP.	Rother e Harris (2016)
Tabela de Combinação do Trabalho Padronizado (TCTP)	Tabela que exibe a combinação do tempo de trabalho manual e o tempo percorrido de cada operário, com o tempo de processamento da máquina. A tabela completa mostra as interações entre operadores e máquinas no processo analisado e permite que se recalcule o conteúdo de trabalho dos operadores.	LIB (2003)
Diagrama de Trabalho Padronizado	Ferramenta que ilustra o deslocamento dos funcionários no local de trabalho através de um <i>layout</i> e tem como função auxiliar o trabalhador sobre como deve executar seu trabalho em relação à sequência operacional e à localização do estoque.	Liker e Meier (2007)
Diagrama de Espaguete	Mostra o fluxo físico de um produto ou o deslocamento de um operador. Seu objetivo é ilustrar os desperdícios referentes ao deslocamento e transporte, realizados pelos funcionários.	Womack e Jones (2004)

O LBPC utiliza a técnica da LOB para representar o plano de longo prazo (Frandsen, 2019; Kenley; Seppänen, 2010), mas difere desta por ser um método para planejar e controlar um empreendimento de construção (Olivieri; Granja; Picchi, 2016), enquanto a LOB é apenas uma técnica de elaboração de planos.

Diversos conceitos relacionados à filosofia da Produção Enxuta podem ser relacionados ao uso da LOB, tais como tamanho do lote, tempo de ciclo, ritmo de processos, WIP e falta de sincronização entre as equipes (Bulhões; Formoso, 2004; Schramm; Rodrigues; Formoso, 2006; Nutt *et al.*, 2020).

Existem algumas variações entre métodos relacionados à LBPC, destacando-se o *Location-Based Management System* – LBMS (Seppänen, 2009) e o *Takt Time Planning* – TTP (Frandsen; Berghede; Tommelein, 2013). O Quadro 2 apresenta as principais diferenças entre estes métodos, que segundo Frandsen, Seppänen e Tommelein (2015), estão relacionadas a como cada método utiliza *buffers*, realiza a alocação dos recursos e o controle da produção.

## Método

### Abordagem metodológica

*Design Science Research* (DSR) foi a abordagem metodológica adotada neste trabalho. A DSR busca produzir construções inovadoras (artefatos) com o objetivo de solucionar problemas enfrentados no mundo real e contribuir para a construção de teorias prescritivas da disciplina na qual é aplicada (LUKKA, 2003). É parte essencial dessa abordagem a vinculação de um problema com sua solução, e a produção de conhecimento teórico (Kasanen; Lukka; Siitonen, 1993).

O artefato desenvolvido nessa pesquisa é um método para a implementação do TP como um elemento adicional do LBPC. Assim, a principal contribuição do trabalho consiste em um roteiro para realizar esta integração, que pode orientar empresas construtoras no desenvolvimento e implementação de sistemas de PCP.

Destaca-se que durante o estudo houve estreita colaboração entre os pesquisadores, equipe de gestão e trabalhadores da obra, sendo que o método emergiu ao longo do estudo empírico. Assim, a estratégia de pesquisa adotada foi similar à pesquisa-ação, mas posicionada como DSR, conforme sugerido por Järvinen (2007).

Quadro 2 - Comparação entre LBMS e TTP

Constructo	LBMS	TTP
<i>Buffers</i>	Prioriza <i>buffers</i> de tempo e de espaço.	Prioriza <i>buffers</i> de capacidade e espaço.
Controle	Abordagem <i>top down</i> . Engenheiros acompanham o progresso, executam previsões e identificam problemas, que são resolvidos de forma colaborativa.	Abordagem colaborativa. Ênfase para a visualização do local de trabalho, de forma a deixar claro para todos quem está trabalhando e onde, a fim de distribuir o controle. Equipes de produção fornecem atualizações frequentes da evolução dos trabalhos e engenheiros monitoram a execução.
Alocação de recursos	Carrega-se totalmente os recursos nas tarefas de produção e usa-se o mesmo tamanho de equipe continuamente. As durações das tarefas assumem taxas de produção ótimas (não considera interferências).	Subcarrega-se as equipes nas tarefas de produção, a fim de manter uma transferência oportuna e previsível. Espera-se que as pessoas terminem antes do tempo <i>takt</i> e possam então trabalhar nas tarefas “fora do <i>takt</i> ”, preparar-se para a próxima sequência do <i>takt</i> , conduzir estudos iniciais, treinar ou inovar para melhorar o seu trabalho. Se as equipes estiverem trabalhando muito rapidamente, menos mão de obra será necessária para concluir a tarefa dentro do tempo <i>takt</i> .

## Descrição da empresa e do empreendimento estudado

O presente estudo foi desenvolvido na Empresa A, uma construtora e incorporadora de imóveis residenciais e comerciais que atua no mercado imobiliário brasileiro. A Empresa A foi escolhida para o desenvolvimento deste trabalho pelas seguintes razões:

- aplicava diversos conceitos e métodos de gestão baseados na Produção Enxuta;
- possuía um sistema de PCP formalizado, que apresentava diversos elementos do sistema *Last Planner*;
- tinha um grau avançado de padronização dos seus processos, a partir de um SGQ consolidado; e
- estava interessada em desenvolver estudos detalhados de padronização de ciclos de operações críticas como forma de melhorar o PCP.

O Empreendimento E1, localizado na cidade de Porto Alegre – RS, é constituído por uma área comercial e uma torre residencial multifamiliar de 15.341,13m<sup>2</sup>. Este estudo teve como foco a torre residencial de quinze pavimentos, construída em alvenaria estrutural e divisórias internas em *drywall*. A torre residencial possui 167 apartamentos, sendo 11 apartamentos no 2º pavimento e 12 apartamentos do 3º ao 15º pavimentos. Os apartamentos possuem de 56m<sup>2</sup> a 67m<sup>2</sup> de área privativa e cada pavimento tem três tipologias de apartamentos diferentes (Figura 1), sendo quatro apartamentos com três dormitórios e oito apartamentos com dois dormitórios.

## Delineamento da pesquisa

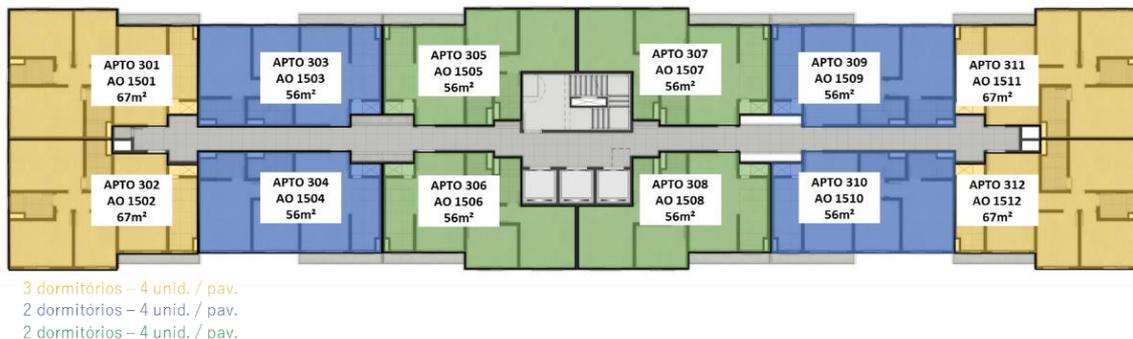
Este estudo foi realizado no período de janeiro de 2022 a setembro de 2022, sendo dividido em três fases:

- compreensão;
- desenvolvimento e teste; e
- análise e reflexão.

A fase de compreensão consistiu na realização de um diagnóstico da Empresa A e do Empreendimento E1, com o intuito de entender o contexto, os sistemas de PCP e de gestão da qualidade (SGQ) existentes, identificar os processos críticos na produção e oportunidades de melhoria. A fase de desenvolvimento e teste consistiu na concepção e aplicação do método para implementação do TP como um elemento adicional do LBPC. O método foi concebido e desenvolvido de forma colaborativa com as equipes de gestão e de produção do Empreendimento E1, ao longo de ciclos de coleta de dados, análise e avaliação, propostas de melhoria e implementação das melhorias. A fase de análise e reflexão consistiu na avaliação e reflexão sobre os resultados alcançados no trabalho, realizada em conjunto com os representantes da empresa e líderes das equipes. No Quadro 3, são apresentadas as fontes de evidências utilizadas em cada fase do trabalho, seus objetivos e o tempo dispendido em cada uma delas. Ao longo do estudo, tanto os dados coletados nas entrevistas como nas

observações em obra foram registrados em papel. Os dados quantitativos coletados foram processados utilizando planilhas que geraram gráficos relevantes para o estudo. Ainda, foi realizada a triangulação destes dados, com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos resultados da pesquisa. Por fim, foi realizada a avaliação do artefato, por meio dos constructos de utilidade e facilidade de uso (Quadro 4).

Figura 1 - Tipologias dos apartamentos



Fonte: adaptado da Empresa A.

Quadro 3 - Atividades do estudo empírico (Continua...)

Etapa	Fontes de evidência	Ações	Qtde	Duração total	Objetivo
Compreensão	Observação Participante	Reunião com representantes da empresa	1	1h	Apresentar escopo e objetivos do trabalho. Entender as necessidades e desafios enfrentados pela empresa.
		Reunião com Gestor do setor de Qualidade e Inovação	2	2h	Definir a obra que seria realizado o estudo.
	Observação Direta	Reunião de Médio Prazo	2	1h	Compreender os processos de PCP e SGQ da empresa. Avaliar fase atual da obra e identificar tarefas críticas e potenciais gargalos de produção.
		Reunião de Curto Prazo	1	1h	
		Visita ao canteiro de obra	2	4h	
	Entrevista Aberta	Engenheiro da obra	1	1h	Identificar as tecnologias adotadas nas obras para apoio de atividades gerenciais.
	Entrevista Semi Estruturada	Gestor de Qualidade e Inovação	1	1h	
	Análise de documentos e Registros Fotográficos				Analisar os projetos, <i>layout</i> do canteiro, plano de longo prazo, planilhas de reunião de médio prazo, planilhas das reuniões de curto prazo, planilha do <i>status</i> da produção e indicadores.

Quadro 3 - Atividades do estudo empírico (continuação)

Etapa	Fontes de evidência	Ações	Qtde	Duração total	Objetivo
Desenvolvimento e teste	Observação Participante	Reunião com representantes da empresa	1	1h	Apresentar o diagnóstico e propostas de melhoria.
		Reunião com Engenheiro da Obra e Gestor de Qualidade e Inovação	2	4h	Avaliar quais as tecnologias disponíveis mais adequadas para integrar e digitalizar os processos de coleta e análise de dados.
		Reunião com Empresa Agilean	1	1h	
		Reunião com empresa ConstructIN	1	1h	
	Observação Direta	Visita ao canteiro de obra (coleta de dados)	10	34h	Compreender o conteúdo de trabalho das atividades selecionadas para o estudo (tempos, sequenciamento e requisitos) para estruturar o TP. Acompanhar a implementação do TP e refinar a rotina estabelecida.
	Entrevistas Abertas e Semi Estruturadas	Funcionários	4	2h	
	Observação Participante	Capacitação equipe gerencial da obra	4	4h	Capacitar equipe gerencial da obra a respeito dos conceitos e técnicas envolvidos no estudo, apresentar as propostas de TP e o processo de controle do <i>staus</i> da produção. Auxiliar e acompanhar a implementação do TP. (Dois pesquisadores participaram ativamente da capacitação e acompanhamento da implementação do TP)
		Treinamento funcionários	1	3h	
		Apresentação TP para os funcionários	1	2h30min	
	Análise de documentos e Registros Fotográficos				
Análise e reflexão	Entrevista Semi Estruturada	Funcionários	4	30min	Avaliar o impacto do TP na produção.
		Engenheiro e Estagiário	2	1h	
	Entrevista Aberta	Entrevista com Engenheiro e Estagiário	1	1h30min	
	Observação Participante	Reunião com Engenheiro	1	1h30min	Apresentar resultados do estudo.
		Reunião com representantes da empresa: Diretor de Engenharia, Gestor do setor de Qualidade e Inovação, Engenheiro da obra	1	1h30min	

Quadro 4 - Constructos para avaliação do artefato

Constructo	Subconstructo	Descrição	Fontes de evidência
Utilidade	Balanceamento de recursos e Sincronização de Processos	Utilização do método possibilita o balanceamento dos recursos e a sincronização do conjunto de atividades interrelacionadas	Observação direta na obra Análise de documentos
	Padronização	Utilização do método possibilita o aumento do grau de padronização dos processos	Observação direta na obra Entrevistas abertas Entrevistas semiestruturadas Análise de documentos
	Colaboração	Utilização do método possibilita o engajamento da equipe de produção na elaboração dos planos detalhados	Observação direta na obra Entrevistas abertas Entrevistas semiestruturadas
	Confiabilidade	Utilização do método possibilita maior confiabilidade da equipe de produção quanto às frentes de trabalho disponíveis e da equipe de gestão quanto ao cumprimento das metas	Entrevistas abertas Entrevistas semiestruturadas
	Melhoria Contínua	Utilização do método possibilita aprendizagem e aumento da produtividade das equipes de trabalho	Observação direta na obra Análise de documentos
Facilidade de uso	Comunicação	Compreensão das práticas, conceitos e elementos fundamentais do TP e do LBPC	Observação participante Percepção da pesquisadora
	Transparência e Disponibilidade de Informações	Controle visual e semiautomatizado do <i>status</i> da produção permite ter dados mais precisos, uma visão sistemática e melhora o processo de tomada de decisão	Observação direta na obra Entrevistas abertas Percepção da pesquisadora

## Resultados e discussões

### Diagnóstico

O plano de longo prazo das obras da Empresa A havia sido gerado a partir de um fluxograma e tempos de ciclo padronizados, estabelecidos pela empresa, para alguns processos chave. Assim, cabia a cada subempreiteiro ajustar a sua equipe para cumprir os tempos de ciclo estabelecidos no plano de longo prazo. Este plano consistia em uma rede CPM (método do caminho crítico), desenvolvida no *software* MS Project. Com o objetivo de facilitar as análises do Empreendimento E1, a primeira autora do artigo realizou a transcrição da rede CPM, para uma linha de balanço, utilizando o *software* Agilean (Figura 2).

No plano de longo prazo, normalmente são incluídas folgas entre atividades inter-relacionadas com o objetivo de absorver a variabilidade inerente aos processos de construção. Porém, conforme indica a Figura 2, havia poucas folgas de tempo entre os processos, indicando pouca consideração à variabilidade na definição das durações de atividades na obra. Além disso, foi possível verificar uma limitação na sincronização dos processos, uma vez que os tempos de ciclo das atividades variavam de três a dez dias. Outro ponto observado foi que o planejamento de longo prazo enfatizava o fluxo contínuo do produto (pavimentos), mas sem ser dada a devida atenção à sincronização de processos, o que causava interrupções no fluxo de trabalho.

### Desenvolvimento e Implementação do método

#### Seleção do conjunto de atividades a serem analisadas

A fim de padronizar e sincronizar um conjunto de atividades inter-relacionadas, foram escolhidos cinco processos a partir do plano de longo prazo, conforme recorte indicado na Figura 2: forro de gesso, impermeabilização, proteção mecânica, revestimento cerâmico na parede e revestimento cerâmico no piso.

Figura 2 - Plano de longo prazo e conjunto de atividades selecionado para o estudo



Fonte: adaptado da Empresa A.

A escolha deste conjunto de atividades foi baseada nos seguintes critérios:

- (a) forte interdependência entre estas;
- (b) representavam processos críticos para a produção, isto é, havia limitação de capacidade da equipe, a qual poderia limitar a capacidade do sistema de produção como um todo;
- (c) esta etapa da obra resultava em um incremento significativo de atividades e equipes; e
- (d) este conjunto de atividades estava no início, havendo, assim, tempo hábil para realização do estudo.

Segundo o engenheiro da obra, essas atividades representavam um bloco crítico para a obra, uma vez que havia dificuldades para cumprir os prazos planejados. Esta dificuldade estava vinculada ao fato de que as equipes se espalhavam ao longo de diversos pavimentos, ou seja, havia uma tendência a aumentar o WIP. Dessa forma, era exigido o envolvimento de muitas pessoas para que o ritmo de conclusão de zonas de trabalho fosse cumprido. Além disso, havia um grau de congestionamento elevado de diferentes equipes em alguns locais.

**Coleta de dados**

Foram monitoradas atividades no 3º, 4º e 5º pavimentos, nos quais estavam sendo realizados, respectivamente as atividades de revestimento cerâmico na parede e no piso, impermeabilização e proteção mecânica, e forro de gesso. A partir de observações diretas no canteiro de obras e entrevistas abertas com os funcionários foram coletados os seguintes dados:

- (a) quantidade de trabalhadores;
- (b) tempo que cada um necessitava para concluir um apartamento;
- (c) organização e distribuição dos funcionários na execução das atividades no pavimento e apartamento;
- (d) sequenciamento das operações, isto é, o passo-a-passo realizado por um funcionário na execução da atividade; e
- (e) e o kit padrão para cada processo, isto é, os pré-requisitos necessários para a atividade ser iniciada e concluída sem interrupção.

Cabe salientar que, neste trabalho, os tempos para executar as atividades levou em consideração os tempos percebidos como necessários pelas equipes de produção e pela equipe gerencial da obra. Dessa forma, levou-se em conta, além dos tempos das etapas que agregam valor, normalmente levantados por métodos de cronometragem como o tempo real necessário para a execução de uma atividade, os tempos dispendidos com atividades improdutivas e auxiliares, tais como deslocamento, transporte e descanso, inerentes a processos da construção civil.

**Processamento e análise dos dados coletados**

A partir dos dados coletados, foi realizada uma análise do conjunto de atividades inter-relacionadas. As Figuras 3a e 3b comparam o plano inicial e a projeção do ritmo de produção, com base no desempenho existente, para o conjunto de atividades estudado.

Constatou-se que o plano existente não era seguido integralmente pela obra, em função de diferenças substanciais nos ritmos reais adotados. Além disso, apesar da impermeabilização estar planejada para iniciar após o término do forro, no 3º e 4º pavimento, observou-se que essas duas atividades aconteciam em paralelo. Foi observado também que o tempo de ciclo real do revestimento cerâmico na parede e piso era de 16 dias, ou seja, superior à duração planejada de 10 dias. Ainda, verificou-se que a sequência de trabalho realizada era diferente do planejado para as atividades de revestimento cerâmico na parede e no piso. Constatou-se, com base na tendência do ritmo de produção projetado, que o conjunto de atividades não iria terminar no prazo estabelecido (01/09/2022).

A partir da constatação de que os tempos de ciclo reais eram maiores que os planejados, foi elaborada uma proposta de melhoria no ciclo de operações, considerando uma redução nos tempos de ciclo (Figura 4).

As cinco atividades críticas inter-relacionadas foram transformadas em três atividades:

- (a) forro de gesso;
- (b) impermeabilização e proteção mecânica; e
- (c) revestimento cerâmico na parede e piso.

Para cada uma das atividades, foi considerado um tempo de ciclo e ritmo de entrega, por pavimento, de cinco dias. Além disso, foi estabelecida uma nova definição de tamanho das equipes. Com a implementação dessas melhorias, a proposta (Figura 4) projetava o término das atividades para 19/08/2022, isto é, apontava uma redução de duas semanas, em relação ao término projetado no plano de longo prazo da obra.

Para que a Proposta de melhoria pudesse ser colocada em prática, foi realizado um estudo mais aprofundado de cada processo. Assim, foi mapeado o trabalho como realizado em obra, para cada processo. A partir disso, os pesquisadores estimularam a equipe de gestão da obra e os funcionários a participarem da elaboração das primeiras propostas do TP, apresentadas a seguir. Nesse estágio, foi levado em consideração as alternativas de execução propostas pelos funcionários, bem como os tempos necessários de produção e *setup* e boas práticas informadas pelos trabalhadores. Essa etapa minuciosa do trabalho, envolvendo os trabalhadores, teve por objetivo balancear a quantidade de trabalho entre os funcionários de uma mesma equipe e sincronizar os processos inter-relacionados, de forma que todos tivessem tempos de ciclo compatíveis com o *takt time* de cinco dias por pavimento.

Figura 3 - Plano elaborado no MS Project x trabalho como realizado

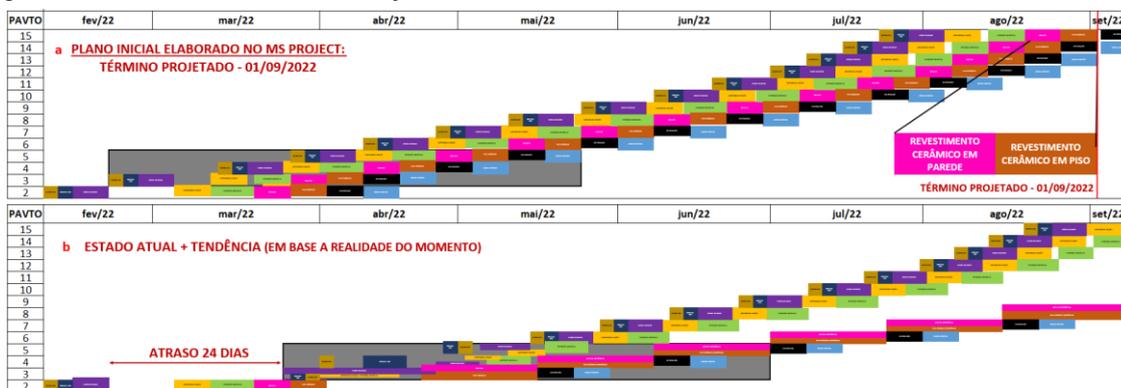


Figura 4 - Proposta de melhoria do trabalho



Cabe salientar que, neste trabalho, os documentos utilizados para criação do TP foram elaborados em conjunto com a equipe de produção, e as informações de diferentes documentos sugeridos pela literatura para criação do TP, foram agrupadas em tabelas, para cada processo. As informações de tempo de execução e distribuição do volume de trabalho, normalmente informadas em uma FEP e GBO, por exemplo, foram agrupadas e consideradas nas referidas tabelas, que se assemelham a TCTP. Assim, buscou-se simplificar a representação para facilitar a compreensão dos planos pelos trabalhadores envolvidos. Ainda, as tabelas apresentam os locais de produção, tendo em vista que a disponibilidade de espaço é primordial no LBPC.

### Forro de gesso

A Figura 5 apresenta o trabalho como estava sendo realizado: no eixo Y é representada a trajetória percorrida pela equipe de quatro gesseiros ao longo dos apartamentos de um pavimento; e no eixo X, a quantidade de dias que cada um necessitava para concluir os locais. O tempo de ciclo para executar um pavimento era de seis dias, diferentemente do tempo de ciclo planejado de cinco dias. A circulação, apesar de ser executada em cinco dias, estava sempre um pavimento abaixo em relação à execução dos apartamentos, o que não era representado no plano de longo prazo, no qual a circulação deveria ser executada em paralelo aos apartamentos.

A partir dessas observações, foi desenvolvida a primeira proposta de TP para o forro de gesso (Figura 6), para poder alcançar o tempo de ciclo planejado de cinco dias. A proposta do TP considerava os seguintes componentes: quantidade de trabalhadores necessários, trajetória percorrida pelos funcionários ao longo do pavimento, sequência de execução do processo dentro dos apartamentos, e tempos de ciclo por apartamento e por pavimento.

### Impermeabilização e proteção mecânica

A Figura 7 apresenta o trabalho como estava sendo realizado, no qual estão representadas as 4 demãos, que eram executadas por apenas um funcionário e a proteção mecânica, que era executada por outro funcionário. O tempo para executar um pavimento de impermeabilização era de cinco dias, e coincidia com o tempo de ciclo definido no plano de longo prazo. Já o tempo necessário para a execução de um pavimento de proteção mecânica era um dia, inferior ao tempo de ciclo planejado.

A partir dos tempos de execução informados e observados, foi desenvolvida a primeira proposta de TP para a impermeabilização e proteção mecânica (Figura 8), de forma a alcançar o tempo de ciclo de cinco dias. A proposta do TP considerava um funcionário trabalhando em sequência nas quatro demãos e finalizando com a proteção mecânica. Além disso, apresentava a ordem de execução dos apartamentos dentro do pavimento (trajetória), a ordem de execução dos ambientes dentro dos apartamentos (sequência) e o tempo de ciclo por demão e para a proteção mecânica.

### Revestimento cerâmico em parede e piso

A Figura 9 apresenta o trabalho como estava sendo realizado, no qual estão representadas a trajetória dos três funcionários pelos apartamentos de um pavimento (eixo Y) e o número de dias que cada um necessitava para concluir os locais (eixo X). O tempo para finalizar um pavimento de apartamentos era de dezesseis dias, acima do tempo planejado de dez dias. O piso da circulação, apesar de ser executado em cinco dias, não estava sendo feito dentro dos dez dias considerados no plano de longo prazo, para execução do revestimento cerâmico na parede e piso.

Figura 5 - Trabalho como realizado - forro de gesso

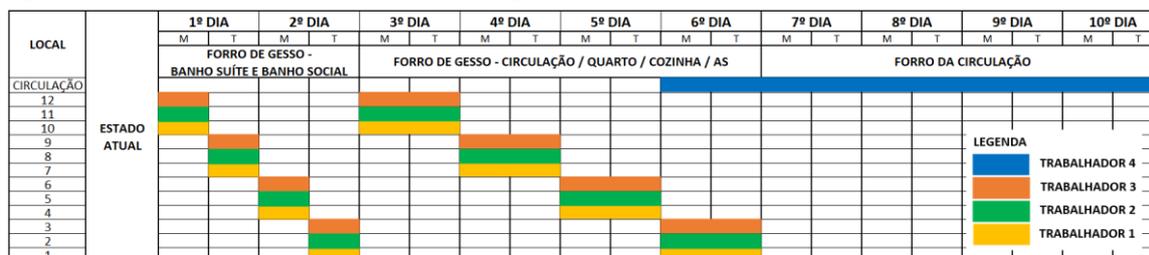


Figura 6 - Primeira proposta do TP - forro de gesso



Figura 7 - Trabalho como realizado - impermeabilização e proteção mecânica

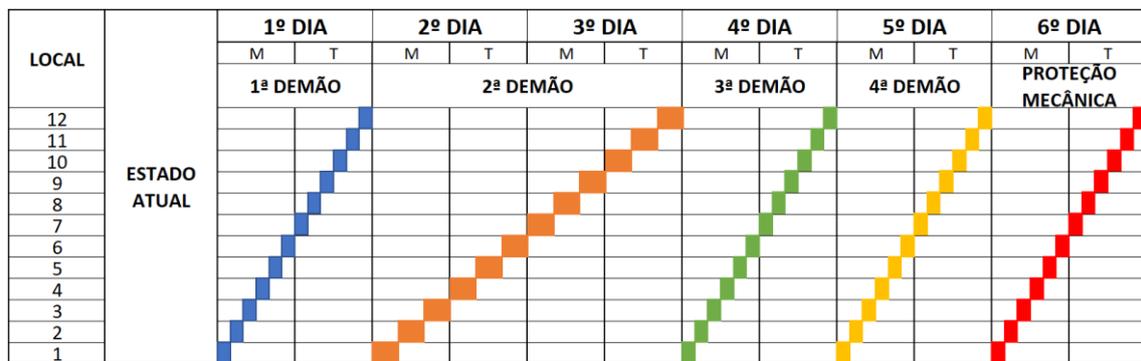


Figura 8 - Primeira proposta do TP - impermeabilização e proteção mecânica

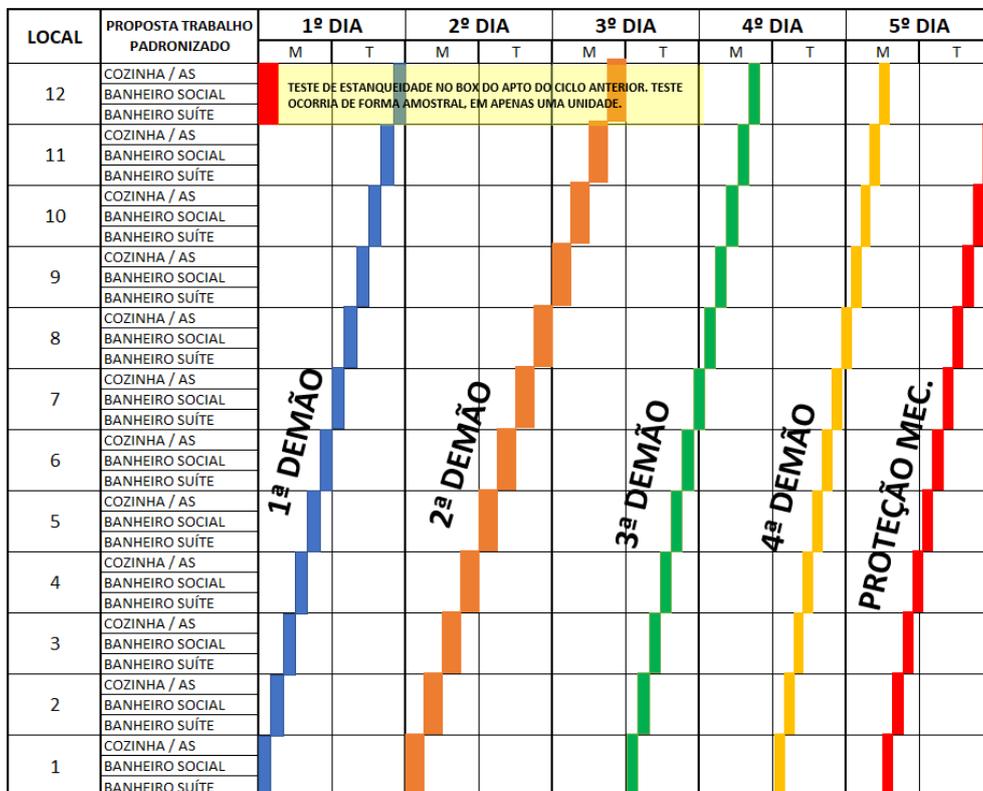
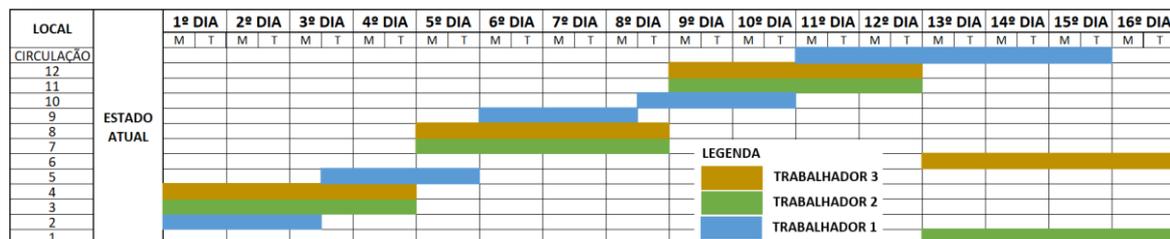


Figura 9 - Trabalho como realizado - revestimento cerâmico em parede e piso



Foi apresentado para o engenheiro da obra o ciclo de operações conforme realizado, a fim de discutir a primeira proposta do TP para o revestimento cerâmico na parede e piso, visto que havia necessidade de incrementar a equipe para cumprir com o ritmo de entrega do pavimento em cinco dias e sincronizar o processo com o forro e a impermeabilização. O engenheiro expôs ao subempreiteiro que gostaria de executar o revestimento cerâmico, na parede e piso, em cinco dias por pavimento e, a partir disso, foram disponibilizados seis funcionários para executar os revestimentos cerâmicos. Cabe salientar que esta equipe era composta por funcionários que tinham produtividades distintas, em função principalmente dos tempos distintos de experiência na profissão. Assim, foi realizado o balanceamento da quantidade de trabalho, sendo que os trabalhadores mais experientes passariam a executar três apartamentos na semana e os demais, dois apartamentos. A partir dessas análises e em colaboração com a equipe, foi elaborada a primeira proposta do TP para o revestimento cerâmico em parede e piso (Figura 10).

### Implementação e controle do trabalho padronizado

Após o balanceamento da quantidade de trabalho dos funcionários das equipes e da sincronização dos processos analisados, foi implementado o TP como um elemento adicional do LBPC.

#### Planejamento e alocação de recursos

Primeiramente, foi estabelecida uma hierarquia de lotes de trabalho, composta por dois diferentes níveis:

- lote de produção superior; e
- lote de produção inferior.

O nível superior da hierarquia consiste no lote de produção do pavimento, do 3º ao 15º pavimento. O controle do lote de produção superior está relacionado ao cumprimento do *takt time*. Assim, cada processo tinha um ritmo planejado de cinco dias por pavimento, o qual deveria ser concluído pelas equipes antes de passar para o pavimento seguinte. O nível inferior da hierarquia corresponde aos lotes de produção dos apartamentos, sendo 12 unidades por pavimento. O controle do lote de produção inferior está relacionado ao cumprimento do tempo de ciclo, estabelecido para cada funcionário em cada apartamento, e a aderência à trajetória pré-definida. O controle do lote de produção inferior possibilita acompanhar o avanço dos funcionários por apartamento e identificar atrasos que podem comprometer a entrega do lote de produção superior no ritmo proposto no TP.

Além disso, foi realizada a designação dos locais de trabalho para cada trabalhador, assim, era alocado a cada funcionário uma atividade, pavimento e apartamento. Essa alocação estava baseada na trajetória percorrida pelos funcionários no pavimento, definida na proposta do TP a qual priorizava que cada funcionário executasse a mesma tipologia de apartamento em todos os pavimentos.

Foram elaborados dispositivos visuais a fim de facilitar o entendimento dos funcionários a respeito das rotinas padronizadas de trabalho. Estes explicitavam a meta de cada funcionário, as folgas de tempo e espaço previstas para cada funcionário, a sequência padrão de execução no apartamento e a trajetória a ser seguida no pavimento por cada funcionário.

A necessidade de planejar folgas ocorreu em virtude de existir frentes de trabalho com produtividades distintas. Dessa forma, sobretudo para a atividade de revestimento cerâmico na parede e piso, os funcionários que produziam mais rápido, após a conclusão dos apartamentos sob sua responsabilidade, poderiam assentar o piso na circulação ou então, executar o apartamento de um dos funcionários com produtividade menor. Assim, mesmo que houvesse variação no ritmo de entrega dos apartamentos, alcançou-se o ritmo de cinco dias para a entrega do pavimento. Além disso, as folgas foram planejadas com o objetivo de absorver a variabilidade nos processos.

As Figuras 11, 12 e 13 apresentam, respectivamente, os dispositivos visuais elaborados para as atividades de Forro de Gesso, Impermeabilização e Proteção Mecânica e Revestimento Cerâmico em Parede e Piso.

Antes de iniciar a implementação do TP, gestores e pesquisadores promoveram uma reunião com todos os funcionários para discutir o plano e explicar os benefícios a todas as partes. Nessa ocasião, os funcionários foram estimulados a participar do aprimoramento do padrão, ou seja, na medida em que fossem executando o plano padronizado e identificassem melhorias na forma de executar as atividades, deveriam comunicá-las de maneira que fosse possível refinar o TP. Ainda, foi enfatizado aos trabalhadores que eles se beneficiariam com melhores condições de trabalho e previsibilidade da produção e, conseqüentemente, aumento de seus salários.

**Registro e controle do status da produção**

O registro do *status* da produção era realizado de forma manual, pelo estagiário responsável pelo acompanhamento das atividades. Verificou-se, contudo, que os dados coletados eram imprecisos, pois nem sempre o estagiário conseguia verificar o *status* diário de cada apartamento, além disso, existiam registros duplicados, o que dificultava o monitoramento da data real de início e término de cada atividade em cada apartamento. Além disso, o tempo de coleta, processamento e análise de dados era lento, dificultando a rápida visualização de tendências de atraso, resultando em demora para tomada de decisão.

Figura 10 - Primeira proposta do TP - revestimento cerâmico em parede e piso

LOCAL	TRABALHADOR	1º DIA		2º DIA		3º DIA		4º DIA		5º DIA			
		M	T	M	T	M	T	M	T	M	T		
CIRCULAÇÃO	6	FINAL 12	FINAL 11	FINAL 10	FINAL 09	FINAL 08	FINAL 07	FINAL 06	FINAL 05	FINAL 04	FINAL 03	FINAL 02	FINAL 01
12	5	[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]	
11		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]	
10	4	[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]	
9		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]	
8	3	[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]	
7		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]	
6	2	[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]	
5		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]	
4	1	[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]	
3		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]	
2	1	[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]	
1		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]		[Barra]	
SEQÜÊNCIA PADRÃO DE EXECUÇÃO NO APARTAMENTO		PAREDES				PISO CERÂMICO + RODAPÉ							
		WC SUÍT	WC SOC	COZ / AS	WC SUÍT	WC SOC	COZ / AS	RODAPÉS					

Figura 11 - Quadro visual do TP - forro de gesso

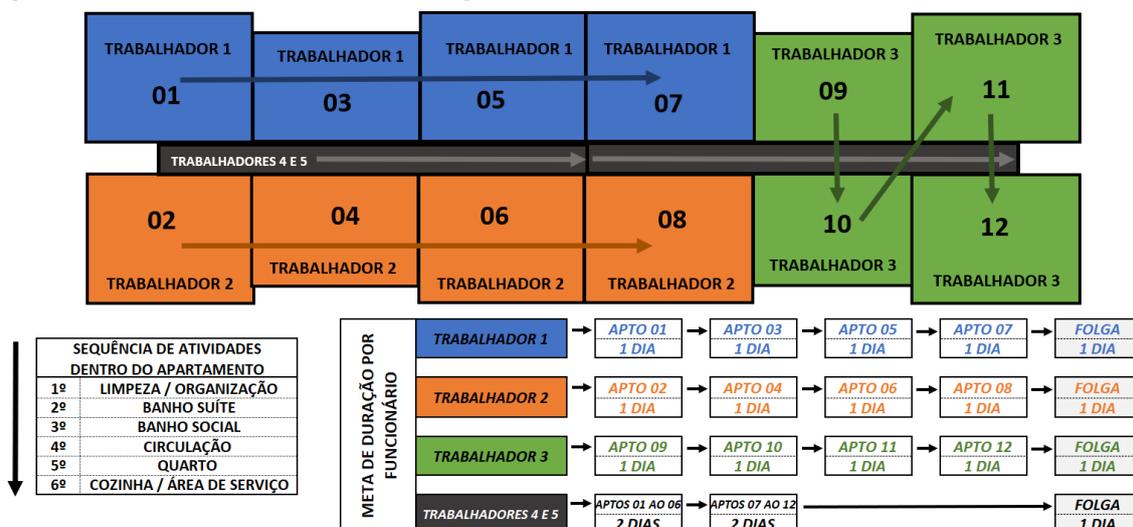


Figura 12 - Quadro visual do TP- impermeabilização e proteção mecânica

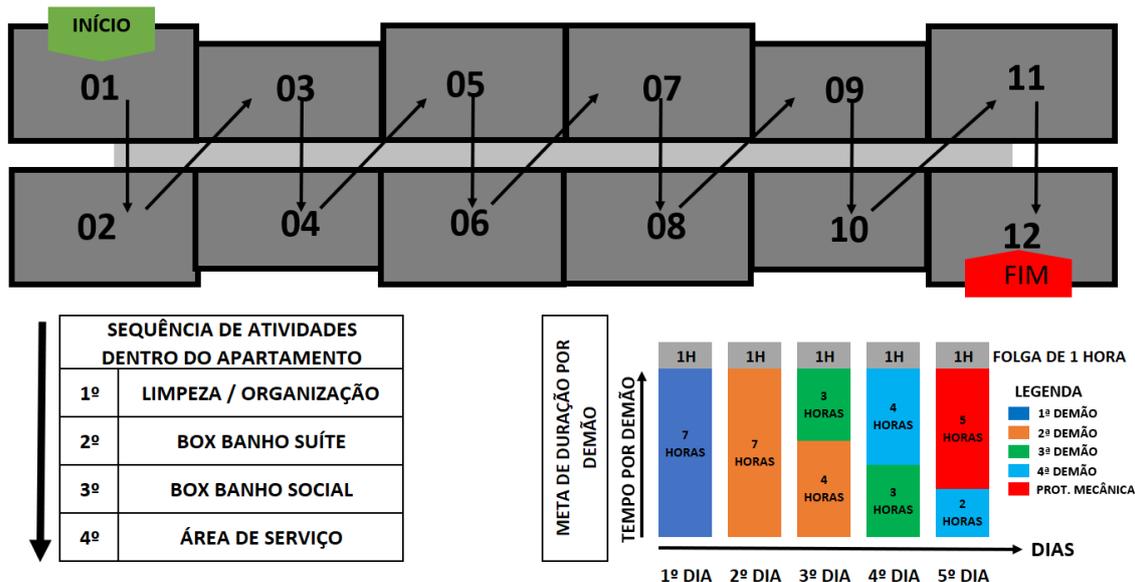
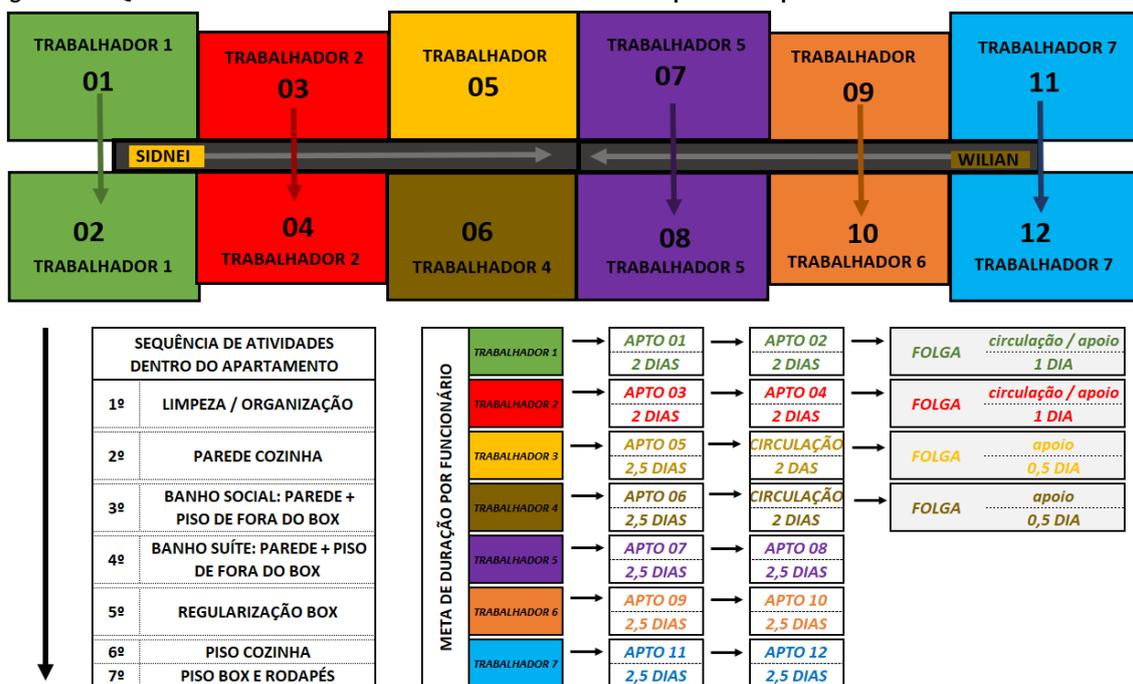


Figura 13 - Quadro Visual do TP - revestimento cerâmico em parede e piso



A fim de gerar uma base de dados mais precisa a partir das datas de início e término reais, foi elaborada uma planilha no *Google Sheets* para o acompanhamento diário das atividades, que podia ser acessada pelos *tablets* dos estagiários. Esta planilha correspondia a uma matriz de controle visual que tinha todos os apartamentos, pavimentos e processos analisados em uma mesma aba, possibilitando uma visão da execução do conjunto de processos.

A Figura 14 apresenta esta matriz de controle, sendo que cada aba representava um dia da semana e nelas o estagiário deveria preencher as células com os quatro possíveis *status* das atividades em cada apartamento:

- (a) não iniciada (vermelho);
- (b) em progresso (amarelo);
- (c) atividade com restrição (roxo); e

(d) atividade concluída (verde).

O nome dentro das células indicava o responsável pela execução de cada apartamento. A alocação era feita pelo estagiário na planilha para pelo menos dois pavimentos (pavimento em execução e o pavimento seguinte a ser executado).

### Acompanhamento do trabalho padronizado

No contexto da construção civil, no qual os tempos de ciclo são substancialmente maiores que na manufatura, verificou-se a importância de se dar maior autonomia aos funcionários, flexibilizando algumas etapas do trabalho, sem deixar de exigir o cumprimento do ritmo estabelecido no plano de longo prazo. Assim, foi necessário considerar certo grau de flexibilidade no cumprimento da sequência de atividades dentro do apartamento. A alocação antecipada para pelo menos dois pavimentos a frente, foi importante para os funcionários terem claros suas tarefas, locais e prazos para cumpri-los.

Foram identificadas boas práticas da empresa, no que se refere ao conjunto de pré-requisitos que foram disponibilizados antes de cada atividade iniciar, permitindo a execução do TP com poucas interrupções ou improvisações. Dentre os componentes do *kit* padrão, normalmente disponibilizados pela empresa, para cada processo, destacaram-se: projetos, mão de obra, treinamento das equipes, materiais, ferramentas e equipamentos, distribuição e abastecimento de materiais, responsáveis pelo monitoramento e controle, espaço e inspeção. Eventualmente constatava-se a ausência de um dos componentes para as atividades, o que resultava em *making-do* e aumento do WIP.

A partir dos dados coletados na matriz de controle do *status* foram gerados gráficos de acompanhamento de cada uma das atividades, tais como: aderência ao lote e tempo de ciclo. A Figura 15 apresenta os gráficos gerados para o processo de revestimento cerâmico na parede e piso.

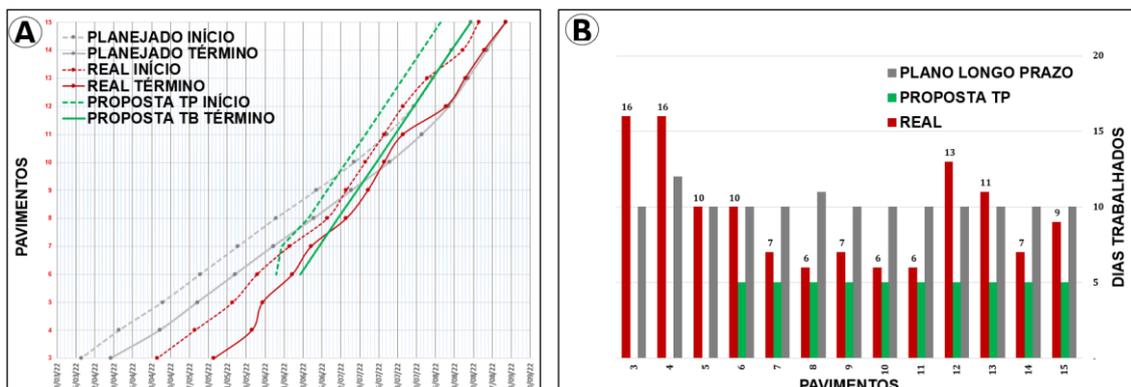
A Figura 15a mostra que, apesar do processo de revestimento cerâmico na parede e piso não ter iniciado na data inicialmente planejada, ele terminou dentro do prazo previsto. De fato, no plano de longo prazo da obra, estas atividades estavam planejadas para serem realizadas separadamente, com cinco dias de duração cada, isto é, totalizando dez dias de ciclo. Porém, como estas atividades eram realizadas juntas, houve um esforço tanto por parte da equipe de produção, quanto por parte da equipe gerencial, para distribuir a quantidade de trabalho entre os funcionários, de forma que o tempo de ciclo do pavimento fosse menor que dez dias. A Figura 15b indica que isto foi alcançado, isto é, os tempos de ciclo reais variaram de seis a sete dias por pavimento. No 12º e 13º pavimentos, houve um aumento no tempo de ciclo, em virtude do compartilhamento dos recursos com a execução de atividades no 2º pavimento.

Figura 14 - Matriz de controle do *status* da produção

APARTAMENTO	FORRO DE GESSO	IMPERMEABILIZAÇÃO	PROT. MECÂNICA	CERÂMICA / AZULEJO
1308	Gesseiro D (1)			Ceramista D (2)
1307	Gesseiro C (2)			Ceramista D (1)
1306	Gesseiro B (2)			Ceramista C (2)
1305	Gesseiro A (3)			Ceramista C (1)
1304	Gesseiro C (1)			Ceramista B (2)
1303	Gesseiro A (2)			Ceramista B (1)
1302	Gesseiro B (1)			Ceramista A (2)
1301	Gesseiro A (1)			Ceramista A (1)
12º CIRC	Gesseiro E (1) Gesseiro D (4)			Ceramista E (3) / Ceramista D (2)
1212	Gesseiro C (3)			Ceramista F (2)
1211	Gesseiro C (1)			Ceramista F (1)
1210	Gesseiro D (1)			Ceramista E (2)
1209	Gesseiro D (2)			Ceramista E (1)
1208	Gesseiro D (3)			Ceramista D (1)
1207	Gesseiro C (2)			Ceramista D (2)
1206	Gesseiro B (3)			Ceramista B (3)
1205	Gesseiro A (3)			Ceramista C (1)
1204	Gesseiro B (2)			Ceramista B (2)
1203	Gesseiro A (2)			Ceramista B (1)
1202	Gesseiro B (1)			Ceramista A (2)
1201	Gesseiro A (1)			Ceramista A (1)

29.07 | 01.08 | 02.08 | 03.08 | 04.08 | 05.08 | 08.08 | 09.08 | 10.08 | 11.08 | 12.08

Figura 15 - Aderência ao lote e tempo de ciclo - revestimento cerâmico em parede e piso



### Sincronização dos processos

Foram elaborados dois gráficos para analisar o impacto do TP no conjunto de atividades inter-relacionadas (Figura 16). A Figura 16a representa o desvio do ritmo de produção por processo, mostrando que houve uma tendência de sincronização dos processos, isto é, evidencia uma certa propensão ao alinhamento dos ritmos de produção dos diferentes processos. A Figura 16a ainda evidencia que a obra recuperou o atraso existente no início do trabalho, mesmo com todos os processos iniciando após a data prevista no plano de longo prazo.

A Figura 16b mostra a evolução do tempo de ciclo, indicando uma tendência de redução tanto da duração, quanto da variação. Isso confirmou que a padronização do ciclo de operações, conduzida por meio da implementação do TP para um conjunto de atividades foi bem-sucedida, possibilitando melhorias na direção da sincronização dos processos.

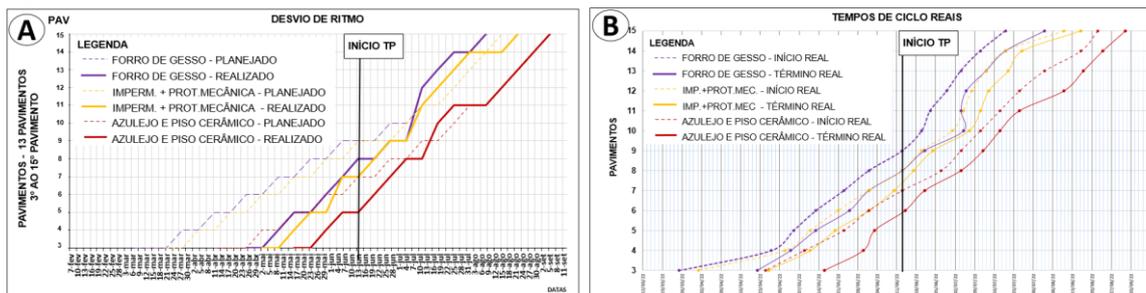
### Avaliações e discussões finais

O estudo promoveu o desenvolvimento de planos de trabalho detalhados para um conjunto de atividades críticas com base nos elementos do TP. A partir do balanceamento da quantidade de trabalho entre as equipes de produção, o *takt time* e a trajetória padrão de execução dos trabalhadores dentro do pavimento foram explicitados por meio de dispositivos visuais. As metas individuais de cada funcionário, isto é, o tempo de ciclo disponível para execução de um apartamento e circulação, também foram explicitados, assim como a sequência padrão de execução das tarefas dentro do apartamento. A alocação formal e o uso de dispositivos visuais contribuíram para a análise das condições iniciais, cumprimento da trajetória e compromisso com a meta pelos próprios funcionários. Quanto ao terceiro elemento do TP, estoque padrão, esse conceito foi expandido para *kit* padrão, ou seja, os requisitos necessários que precisam ser disponibilizados para alcançar um bom desempenho do TP, sem interrupções e improvisações. Para a atividade de forro de gesso da circulação, contudo, a indisponibilidade de alguns materiais gerou um aumento de frentes de trabalho. Além disso, a indisponibilidade de equipes para executar o piso cerâmico do 2º andar gerou um aumento no tempo de ciclo do revestimento cerâmico em parede e piso do 12º e 13º andares, pois as mesmas equipes deveriam executá-las em paralelo.

Diferentes tipos de folgas para os trabalhadores foram considerados no detalhamento do TP, tais como:

- espaço, representada no dispositivo visual do TP do revestimento cerâmico em parede e piso como o apartamento reserva e a circulação, disponíveis para serem executados pelo funcionário mais rápido, isto é, para o que cumprisse sua meta antes do tempo previsto;
- multifuncionalidade, resultante da alocação da equipe (e não de um funcionário específico) para execução da atividade de impermeabilização, uma vez que todos os funcionários da empresa de impermeabilização eram capacitados para executar a atividade nos apartamentos;
- múltiplos controles, implementados por meio de reuniões semanais promovidas pelo engenheiro com os subempreiteiros das atividades críticas, diferentes perspectivas de resolução de problemas eram avaliadas em conjunto, a partir da análise da matriz do controle do *status* da produção; e
- tempo, representada no quadro visual do TP de todas as atividades analisadas pela diferença entre o *takt time* do processo e o tempo de ciclo de cada funcionário.

Figura 16 - Desvio de ritmo e tempo de ciclo reais - conjunto de processos inter-relacionados



Constatou-se que a implementação do TP permitiu menor variação no tempo de ciclo dos processos, gerou menor congestionamento entre diferentes equipes e reduziu atividades de movimentação. Percebeu-se que o foco na execução da mesma tipologia gerou aprendizagem e contribuiu para aumentar a produtividade dos funcionários. Ainda, verificou-se que, ao início das atividades, havia maior rotatividade de funcionários e menor previsibilidade da quantidade de trabalho disponível. Porém, o TP permitiu maior confiabilidade por parte dos subempregados, o que gerou menor rotatividade da mão de obra.

### Método para implementação do trabalho padronizado

A partir da realização do estudo empírico, foi proposta a versão final do método, que é composto por cinco etapas, conforme representado na Figura 17.

A primeira etapa do método propõe a utilização de um plano de longo prazo baseado em localização. Após, deve-se ampliar a hierarquia de lotes de trabalho, que serve para o controle do TP. A hierarquia deve ser composta por tantos níveis quanto forem necessários, de forma que se possa realizar os controles relacionados ao cumprimento do *takt time*; ao cumprimento do tempo de ciclo estabelecido para cada funcionário e ao cumprimento da trajetória estabelecida no TP. A partir disso, é possível acompanhar a trajetória dos funcionários e identificar possíveis atrasos que possam comprometer a entrega do lote de produção no ritmo proposto no TP.

A segunda etapa do método consiste na seleção de um conjunto de atividades inter-relacionadas para implementação do TP. Deve-se considerar os seguintes critérios para esta escolha:

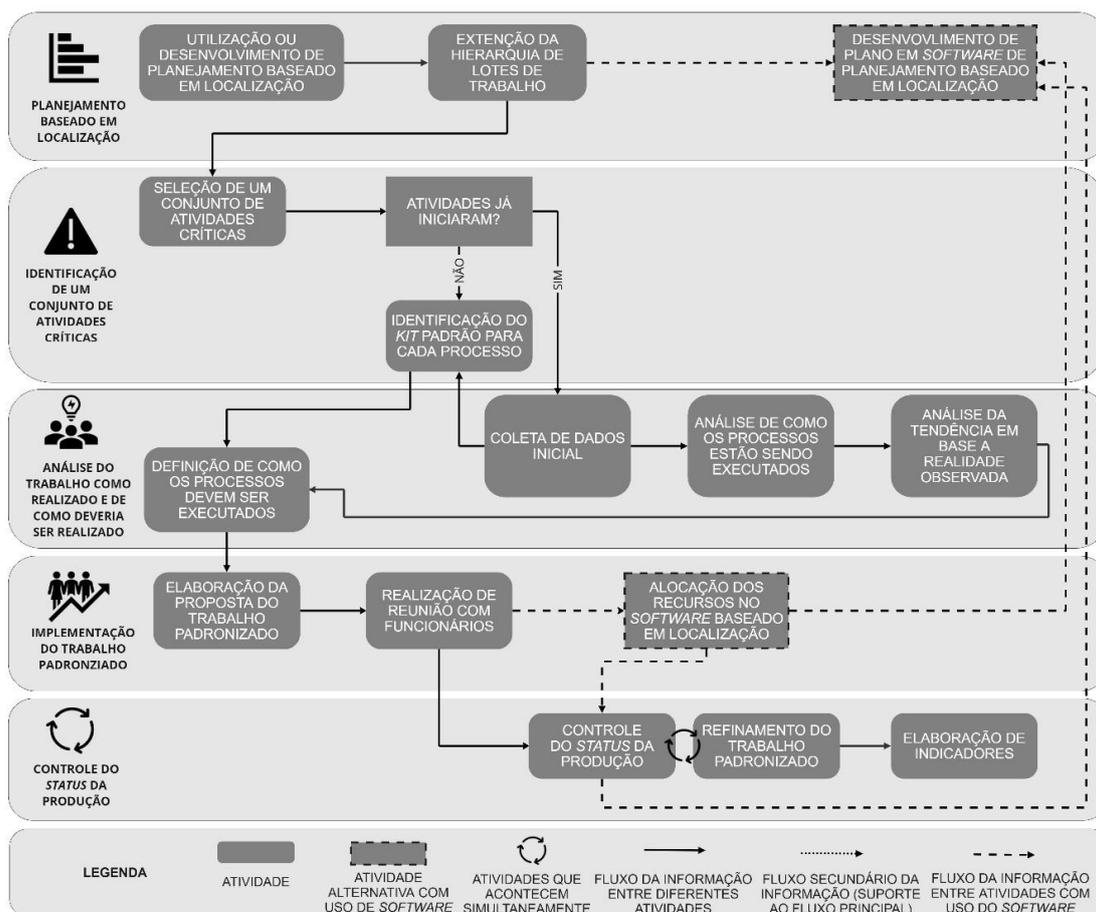
- forte interdependência entre as atividades;
- possibilidade de limitar o ritmo de entrega das atividades sucessoras, impactando no prazo final da obra; e
- aumento da complexidade no controle da produção, por haver um incremento significativo no número de atividades e equipes na obra.

Ainda nessa etapa, deve-se identificar o *kit* padrão para cada atividade, ou seja, os pré-requisitos necessários que precisam ser disponibilizados para alcançar um bom desempenho, evitando interrupções e improvisações.

A terceira etapa do método consiste em definir como os processos devem ser executados. O objetivo desta etapa é equilibrar a quantidade de trabalho entre as equipes para atingir o *takt time* definido no plano baseado em localização e sincronizar os processos. Essa etapa deve ser desenvolvida em conjunto com os trabalhadores encarregados de executar as atividades, considerando os tempos de ciclo reais de execução, incluindo os tempos necessários para produção e para *setup*, e boas práticas informadas pelos trabalhadores. Além disso, deve-se definir as folgas necessárias no detalhamento das rotinas padronizadas. Sugere-se que seja feita a definição de como cada processo deve ser executado, considerando as seguintes informações:

- lotes de trabalho;
- número de trabalhadores;
- tempos necessários de execução de cada trabalhador;
- seqüência de execução das operações; e
- trajetória de execução de cada trabalhador.

Figura 17 - Método para implementação do TP como um elemento adicional do LBPC



A quarta etapa do método consiste na implementação do TP. Para cada ciclo de operações, deve existir um quadro visual explicitando os seguintes elementos:

- takt time* (ritmo) de cada lote de produção;
- tempo de ciclo disponível (meta) de cada trabalhador;
- trajetória padrão de execução;
- seqüência padrão de um conjunto de operações;
- folgas de cada trabalhador; e
- kit* padrão.

Caso necessário, deve-se refinar o TP ao longo dos ciclos de produção.

A quinta e última etapa do método está relacionada ao monitoramento do *status* da produção e controle dos ciclos de produção. Essa etapa refere-se ao monitoramento das datas de início e término das atividades, histórico da alocação de recursos, cumprimento da trajetória, pendências por lote de produção, falta de terminalidade e quantidade de WIP. A análise desses dados permite que a equipe de gestão e a equipe de produção possam buscar melhorias nos processos, com foco no refinamento do TP.

## Avaliação do artefato

O método foi avaliado quanto à sua utilidade e facilidade de uso. Em relação ao construto utilidade, o método contribuiu para a implementação de processos colaborativos e para aumentar o nível de padronização, promovendo o engajamento das equipes e aumentando a confiabilidade do sistema produtivo. Ao estimular a participação e a autonomia no trabalho, o TP proporcionou um equilíbrio entre padronização, flexibilidade e

melhoria contínua. De fato, os trabalhadores relataram sobre a aprendizagem obtida e a produtividade aumentou ao longo dos ciclos de produção. O método também permitiu que os trabalhadores exercessem a autonomia de uma forma eficaz, ao fornecer um escopo claro de flexibilidade, limitado pela padronização de alguns componentes do TP: trajetórias e tempo de ciclo de apartamentos faziam parte dos padrões, enquanto os trabalhadores podiam alterar a sequência de operações dentro dos apartamentos. Consequentemente, o método contém mecanismos que possibilitam aumentar a sincronização dos processos e a estabilidade dos ciclos de produção. Quanto ao construto facilidade de uso, observou-se que o método possibilitou o entendimento das práticas e conceitos do LBPC, bem como disponibilizou informações para apoiar a tomada de decisão de forma efetiva e transparente.

A Figura 18 apresenta uma comparação entre o método proposto no presente estudo e dois estudos anteriores que contribuíram para o desenvolvimento do presente trabalho, o estudo de Mariz (2012) sobre TP, e o estudo de Frandson (2019) sobre o processo colaborativo proposto no *Takt Time Planning*. Pode-se observar que o método proposto neste estudo amplia o uso de conceitos aplicados para alcançar eficácia na implementação do TP.

## Conclusões

O presente estudo propôs um método para implementar o TP como um elemento adicional do LBPC. O método proposto representa uma contribuição na medida que se sugere uma adaptação do TP ao contexto da construção civil. De fato, TP é um tema pouco explorado na literatura sobre gestão da construção. Além disso, o método avançou na aplicação do TP de forma integrada a métodos de planejamento da construção que são baseados na Filosofia *Lean*. Nesse sentido, a definição do TP foi realizada a partir da participação de todos os envolvidos, isto é, equipe de gestão da obra e equipes de produção, na identificação dos componentes que devem compor o TP. Assim, o presente trabalho contribuiu para o avanço do conhecimento a partir da identificação dos componentes que devem compor o TP para os processos da construção civil: *takt time*, tempo de ciclo, diferentes tipos de folga, trajetória padrão de execução, sequência padrão de operações, *kit* padrão e hierarquia de lotes.

Concluiu-se que o método se configurou como um mecanismo para gerenciar sistematicamente a variabilidade e a incerteza no LBPC. Nesse sentido, o método permitiu o aumento da previsibilidade de zonas de trabalho disponível, sem aumentar excessivamente o trabalho em progresso, contribuindo para reduzir as interrupções nos fluxos de trabalho e a rotatividade de funcionários. Além disso, o método permitiu aumentar o grau de padronização dos processos, a partir de elementos bem definidos na elaboração do TP, o que contribuiu para reduzir atividades de *setup*, gerar aprendizagem e aumentar a produtividade. Por fim, o método possibilitou obter bons resultados em direção à sincronização dos processos da construção civil.

Figura 18 - Comparação entre trabalhos anteriores e o método proposto

CONSTRUCTOS	Método para Aplicação do TP em Serviços de Construção MARIZ (2012)	TTP as a work structuring method to improve construction work flow FRANDSON (2019)	Método para implementação do TP integrado ao LBPC
Participação dos operários na definição dos planos detalhados	Perspectiva de um observador externo, sem envolver funcionários	✓	✓
Hierarquia de Lotes	Não menciona	Não menciona	✓
Definição dos recursos de <i>slack</i> como elemento dos planos detalhados dos processos críticos	Não menciona	Não menciona	✓
Identificação dos componentes do <i>kit</i> padrão para cada conjunto de operações	Considera que, para implementação do TP, os requisitos devem estar à disposição previamente	Não menciona	✓
Balanceamento da quantidade de trabalho dos funcionários	✓	✓	✓
Sincronização de processos inter-relacionados	Não menciona	O equilíbrio dos processos ocorre por meio do balanceamento da produção, isto é, através de alterações na quantidade de trabalho. Porém, sem utilizar o TP	A melhoria na padronização das operações contribuiu para uma maior tendência à sincronização dos processos.

Como sugestões para trabalhos futuros podem ser destacados os seguintes:

- (a) aplicar o método proposto em diferentes contextos e com menor repetitividade;
- (b) investigar o uso de tecnologias digitais para apoiar a coleta de dados e possibilitar o controle automatizado do *status* da produção; e
- (c) investigar mais a fundo a definição do escopo do *kit* padrão e o processo de definição de folgas para evitar os impactos negativos da variabilidade.

## Referências

- ALVAREZ, R.; ANTUNES JR., J. A. V. Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, v. 8, n. 1, p. 1-18, abr. 2001.
- BALLARD, G., TOMMELEIN, I. **2020 current process benchmark for the Last Planner(R) system of project planning and control**. 2021. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/5t90q8q9>. Acesso em: 14 abr. 2022.
- BASHFORD, H. H. *et al.* Implications of even flow production methodology for U.S. housing industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 129, n. June, p. 330-337, 2003.
- BINNINGER, M.; DLOUHY, J.; HAGHSHENO, S. Technical Takt Planning and Takt Control. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 25., Heraklion, 2017. **Proceedings [...]** Greece, 2017.
- BOURGOIS, J. On the measurement of organizational slack. **Academy of Management Review**, v. 6, n. 1, p.29–39, 1981.
- BULHÕES, I. R. **Diretrizes para implantação de fluxo contínuo na construção civil: uma abordagem baseada na Mentalidade Enxuta**. Campinas, 2009. 339 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- BULHÕES, I. R.; FORMOSO, C. T. Desenvolvimento e aplicação de ferramentas gráficas para obras de habitação de interesse social. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo, 2004. **Anais [...]** São Paulo: ANTAC, 2004.
- DE BORTOLI, A. G. *et al.* Standardized work: practical examples in a Brazilian construction company. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 25., Heraklion, 2017. **Proceedings [...]** Greece, 2017.
- DESCHAMPS, R. R. *et al.* The impact of variability in workflow. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. **Proceedings [...]** Australia, 2015.
- FALOUGHI, M. *et al.* Wip design in a construction project using takt time planning. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. **Proceedings [...]** Australia, 2015.
- FAZINGA, W. R. **Particularidades da construção civil para implantação do trabalho padronizado**. Londrina, 2012. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, 2012.
- FIREMAN, M. *et al.* Slack in production planning and control: a study in the construction industry. **Construction Management and Economics**, v. 41, n. 3, p. 256-276, 2023.
- FIREMAN, M.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Integrating production and quality control: monitoring making-do and unfinished work. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 21., Fortaleza, 2013. **Proceedings [...]** Brazil, 2013.
- FIREMAN, M.; SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. The role of slack in standardized work in construction: An exploratory study. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 26., Chennai, 2018. **Proceedings [...]** Índia, 2018.
- FORMOSO, C. T.; BOLVIKEN, T.; VIANA, D. Understanding waste in construction. In: **LEAN construction**. London: Routledge, 2020.

- FORMOSO, C. *et al.* Slack in construction: part 1, core concepts. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 29., Lima, 2021. **Proceedings [...]** Peru, 2021.
- FRANDSON, A. G. **Takt Time Planning as a work structuring method to improve construction workflow.** Berkeley, 2019. Tese (PhD) – Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley, 2019.
- FRANDSON, A. G.; SEPPÄNEN, O.; TOMMELEIN, I. D. Comparison between location-based management and takt time planning. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. **Proceedings [...]** Perth, 2015.
- FRANDSON, A.; BERGHEDE, K.; TOMMELEIN, I. D. Takt time planning for construction of exterior cladding. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 21., Fortaleza, 2013. **Proceedings [...]** Fortaleza, 2013.
- FRANDSON, A.; TOMMELEIN, I. D. Development of a takt-time plan: a case study. In: CONSTRUCTION Research Congress. Atlanta, 2014.
- HAMZEH, F. R. *et al.* Logistics centers to support project-based production in the construction industry. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 15., Lansing, 2007. **Proceedings [...]** Lansing, 2007.
- HARRIS, R. B.; IOANNOU, P. G. Scheduling projects with repeating activities. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 4, p. 269–278, 1998.
- JÄRVINEN, P. Action research is similar to design science. **Quality and Quantity**, v. 41, n. 1, p. 37–54, 2007.
- KASANEN, E.; LUKKA, K.; SIITONEN, A. The constructive approach in management accounting research. **Journal of Management Accounting Research**, v. 5, p. 243–264, 1993.
- KENLEY, R.; SEPPÄNEN, O. **Location-based management for construction.** planning, scheduling and control. London: Spon Press, 2010.
- KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction.** Espoo, 2000. Thesis (Ph.D) – Technical Research Center of Finland, Espoo, 2000.
- KOSKELA, L. Making-do: the eight category of waste. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., Helsingor, 2004. **Proceedings [...]** Helsingor, 2004.
- LEAN INSTITUTE BRASIL. **Léxico Lean:** glossário ilustrado para praticantes do pensamento Lean. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.
- LEÃO, C. F.; ISATTO, E. L.; FORMOSO, C. T. Proposta de modelo para controle integrado da produção e da qualidade com apoio da computação móvel. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 109–124, out./dez. 2016.
- LIKER, J. K. **The Toyota way:** 14 management principles from the world’s greatest manufacturer. New York: McGraw-Hill, 2004.
- LIKER, J. K.; MEIER, D. **O modelo Toyota:** manual de aplicação. Porto Alegre: Bookman. 2007.
- LUKKA, K. The constructive research approach: case study research in logistics. **Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series B**, v. 1, n. 2003, p. 83-101, 2003.
- MARIZ, R. N. **Método para aplicação do trabalho padronizado em serviços de construção.** Campinas, 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.
- MARTIN, T. D.; BELL, J. F. **New horizons in standardized work:** techniques for manufacturing and business process improvement. New York: Productivity Press. 2011.
- MONDEN, Y. **Toyota production system:** an integrated approach to just-in-time. 4<sup>th</sup>. ed. Norcross: Industrial Engineering and Management Press, 2011.
- NUTT, H. *et al.* LPS process Benchmark 2020: location based planning report. **Lean Construction Journal**, p. 100-118, 2020.

- OHNO, T. **O sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- OLIVIERI, H.; GRANJA, A. D.; PICCHI, F. A. Planejamento tradicional, Location-Based Management System e Last Planner System: um modelo integrado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.16, n. 1, p. 265–283, jan./mar. 2016.
- RIGHI, A.; SAURIN, T. A. Complex socio-technical systems: characterization and management guidelines. **Applied Ergonomics**, v. 50, p. 19–30, 2015.
- RONEN, B. The complete kit concept. **International Journal of Production Research**, v. 30, n. 10, p. 2457-2466, 1992.
- ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando o fluxo contínuo**: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção. 3. ed. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2016.
- ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar**: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.
- SAFFARO, F. A. **O uso da prototipagem para gestão do processo de produção da construção civil**. Florianópolis, 2007. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- SAFFARO, F. A.; SILVA, A. C.; HIROTA, E. H. Um diagnóstico da padronização em canteiro de obras: estudo de caso em empresas de Londrina/PR. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., Fortaleza, 2008. **Anais [...]** Fortaleza: ANTAC, 2008.
- SCHRAMM, F. K.; RODRIGUES, A. A.; FORMOSO, C. T. The role of production system design in the management. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 14., Santiago, 2006. **Proceedings [...]** Chile, 2006.
- SEPPÄNEN, O. **Empirical research on the success of production control in building construction projects**. Helsinki, 2009. Tese (PhD) – Department of Structural Engineering and Building Technology, Helsinki University of Technology, Helsinki, 2009.
- SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- SPEAR, S.; BOWEN, H. K. Decoding the DNA of the Toyota Production System. **Harvard Business Review**, Boston, v. 77, p. 96-106, Sep./Oct. 1999.
- TOMMELEIN, I. D.; EMDANAT, S. Takt Planning: an enabler for Lean Construction. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 30., Edmonton, 2022. **Proceedings [...]** Edmonton, 2022.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas**: elimine o desperdício e crie riqueza. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

## Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (402963/2020-2) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS (20/2551-0000267-5).

Protocolo de aprovação junto ao CAAE/CEP (Comitê em Ética de Pesquisa): CAAE: 45035121.1.0000.5347.

**Fabiana Maria Bonesi-De Luca**

Pesquisa, Análise de dados, Redação do manuscrito original, Edição.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Av. Osvaldo Aranha, 99, Sala 706 | Porto Alegre - RS - Brasil | CEP 90035-190 | Tel.: (51) 3308-4848 | E-mail: fabianabonesi@gmail.com

**Fabício Berger de Vargas**

Pesquisa, Análise de dados, Revisão, Edição.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | E-mail: engfabriciovargas@gmail.com

**Carlos Torres Formoso**

Pesquisa, Revisão, Edição, Supervisão.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | E-mail: formoso@ufrgs.br

**Iamara Rossi Bulhões**

Pesquisa, Análise de dados, Revisão, Supervisão.

Departamento Interdisciplinar, Campus Litoral Norte | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | RS 030, Km 92 | Tramandaí - RS - Brasil | CEP 95590-000 | Tel.: (51) 3308-1340 | E-mail: iamara.bulhoes@ufrgs.br

Editor: **Ariovaldo Denis Granja**

Editoras de seção: **Ercília Hitomi Hirota e Fernanda Aranha Saffaro**

***Ambiente Construído***

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)

[www.scielo.br/ac](http://www.scielo.br/ac)

E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.