2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

FERRAMENTA PARA CONTROLE DA TERMINALIDADE NO PLANEJAMENTO BASEADO EM LOCALIZAÇÃO COM O SUPORTE DE BIM[1]

VARGAS, Fabrício (1); STERZI, Marcus Pereira (2); BARTH, Karina Bertotto (3); FORMOSO; Carlos Torres (4)

(1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, engfabriciovargas@gmail.com
(2) Consultor e Sócio-Fundador da LD Consulting, marcus@ldconsulting.com.br
(3) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, kbertotto@gmail.com
(4) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, formoso@ufrgs.br

RESUMO

Empresas do ramo da construção adotam o avanço físico como métrica para medir o progresso e o desempenho dos empreendimentos em termos de tempo. Entretanto, esta não representa uma medida confiável se o tamanho dos lotes for grande ou se as tarefas não forem concluídas adequadamente devido à falta de qualidade. Logo, indicadores de processo podem contribuir para aumentar a confiabilidade dos indicadores de resultado, pois focam em avaliar o desempenho em etapas intermediárias, enquanto fornecem informações durante a execução para identificar possíveis perdas e problemas. Este artigo apresenta uma ferramenta para controle da terminalidade baseada no planejamento baseado em localização com suporte do BIM. A ferramenta compreende uma Matriz para Controle da Terminalidade dos Lotes, que gera um indicador. A abordagem metodológica adotada nesta pesquisa foi Design Science Research, sendo conduzidos estudos em seis empreendimentos de empresas localizadas no Brasil e Chile. As principais contribuições deste trabalho se referem a forma de aplicação desta ferramenta para controle da terminalidade. A ferramenta proposta fornece uma visão atualizada do status da produção, informações sobre tarefas críticas com falta de terminalidade e suas respectivas restrições, o que permite apoiar a tomada de decisões no planejamento e controle da produção.

Palavras-chave: *terminalidade, medição de desempenho, planejamento e controle da produção, gestão da produção.*

ABSTRACT

Construction companies traditionally use earned value as a metric to assess project progress and performance in terms of time. A major drawback of this approach is that it is not a reliable measure if batch sizes are large, and when tasks are not properly finished due to the lack of process quality. Therefore, process-based indicators can contribute to increase the reliability of the result-based indicators, as they focus on evaluating performance in intermediate stages, while providing information during the execution to identify possible wastes and problems. This paper presents a tool for controlling task completion in location-based planning with the

[1] VARGAS, Fabrício; STERZI, Marcus; BARTH, Karina; FORMOSO, Carlos. Ferramenta para Controle da Terminalidade no Planejamento Baseado em Localização com o suporte de BIM. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

support of BIM. This tool consists of a matrix for monitoring batch completion, which produces a metric. The methodological approach adopted in this investigation was Design-Science Research. This research was conducted in six projects carried out by companies located in Brazil and Chile. The main contributions of this paper refer to the way the tool was used to monitor task completion. The proposed tool can provide an updated overview of production status, information about uncompleted critical tasks and existing constraints, and support decision making in production planning and control.

***Keywords**: completeness, performance measurement, production planning and control, production management.*

1 INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, as empresas da indústria da construção adotam o avanço físico (métrica baseada no Método do Valor Agregado) como indicador para medir o desempenho e o progresso dos projetos (em volume de trabalho executado) em relação ao tempo (KIM; BALLARD, 2002). No entanto, esta medida não reflete a falta de qualidade das atividades e a falta de terminalidade dos lotes de produção. O cálculo do indicador de avanço físico não diferencia a localização na qual a atividade é realizada, totalizando tarefas executadas em lugares distintos. Usualmente indicadores de resultado, como o avanço físico, são reativos, focados no passado e ineficientes para suportar a tomada de decisão (SARHAN; FOX, 2013).

Esta ineficiência pode ocorrer mesmo em empresas que adotam o Sistema *Last Planner* (LPS), quando há falta de integração do controle da produção com o controle de qualidade (FIREMAN *et al.*, 2013). Desta forma, indicadores de processo podem contribuir para aumentar a confiabilidade dos indicadores de resultado, pois focam em avaliar o desempenho em etapas intermediárias, enquanto fornecem informações durante a execução para identificar possíveis perdas e problemas (BRAGLIA; GABBRIELLI; MARRAZZINI, 2019).

Nesse contexto, o Planejamento e Controle da Produção (PCP) baseado em localização (*Location-Based Planning and Control - LBP)* e a adoção de *Building Information Modeling* (BIM) podem reduzir os problemas apontados nos modelos tradicionais. O LBP é uma abordagem de PCP que permite: (i) identificar os processos da construção em uma relação tempo-local-contexto; (ii) gerir de forma explícita os fluxos de trabalho na obra; (iii) suportar a tomada de decisão em diferentes níveis de planejamento (LUCKO; ALVES; ANGELIM, 2014). Já a adoção de BIM pode suportar o LBP (BJÖRNFOT; JONGELING, 2007) para a definição da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho (*Location Breakdown Structure*) (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010), para a definição dos lotes de produção e transferência, e para a divisão dos elementos do modelo de acordo com locais de planejamento e controle da produção (VARGAS, 2018).

O objetivo desta pesquisa é apresentar uma ferramenta para controle da terminalidade com base no LBP e suporte de BIM. Esta ferramenta envolve uma Matriz para Controle da Terminalidade de atividades executadas, um Indicador de Terminalidade dos Lotes (ITL) gerado a partir desta matriz, bem como diretrizes para coleta, processamento e análise das informações. Busca-se, assim, controlar a quantidade de trabalho em progresso e monitorar a execução das atividades com o viés da terminalidade com qualidade.

2 MÉTODO

Esta pesquisa possui um caráter prescritivo, sendo adotada a abordagem *Design*

Science Research (DSR) (MARCH; SMITH, 1995). Neste tipo de pesquisa procura-se entender classes de problemas e desenvolver conceitos de solução para resolver os mesmos, ao mesmo tempo que se busca oferecer contribuições teóricas (HOLMSTRÖM; KETOKIVI; HAMERI, 2009). No presente trabalho, ocorreu a forte interação e a presença de cooperação entre as empresas envolvidas e o pesquisador, bem como tiveram ciclos de aprendizado e reflexões incorporados na fase de implementação. Logo, este tipo de estudo possui características típicas da Pesquisa Ação (BABUROGLU; RAVN, 1992).

O artefato desenvolvido nesta pesquisa consiste em uma ferramenta para controle da terminalidade composta por uma Matriz para Controle da Terminalidade, pelo Indicador de Terminalidade de Lotes (ITL), sendo acompanhado de um conjunto de prescrições para coleta, processamento e análise das informações. A matriz e o indicador de terminalidade emergiram no trabalho de Vargas (2018), que possuía um objetivo mais amplo. No presente trabalho houve uma evolução em relação ao proposto pelo autor no sentido de testar e refinar a ferramenta, aprofundando a análise e estabelecendo um processo para a sua aplicação. O Quadro 1 apresenta a caracterização das empresas que participaram da pesquisa.

Quadro 1 – Caracterização das empresas estudadas

Etapa Envolvida	**Empresa A (Etapa 1)**	**Empresa B (Etapa 1)**	**Empresa C (Etapa 2)**
Porte da empresa	Pequeno porte	Médio porte	Grande porte
Empresas do ramo de Construção e incorporação com foco em	Empreendimentos residenciais de classe média e média-alta no RS/Brasil.	Empreendimentos residenciais de classe média e média-baixa no RS/Brasil.	Empreendimentos residenciais de classe baixa, média e alta-média no Chile
Características principais da empresa	Empresa familiar. Iniciou a jornada *Lean* há mais de 4 anos	Empresa familiar. Iniciou a jornada *Lean* há mais de 4 anos	Empresa chilena. Iniciou a jornada *Lean* há mais de 4 anos
Principais práticas *Lean* implementadas	*Last Planner;* Gestão Visual; *Takt-time planning*	*Last Planner;* Gestão Visual	*Last Planner;* Gestão Visual; *5S*; *Takt-time planning*
Empreendimentos estudados	1 - Residencial horizontal com 99 casas	1 Residencial vertical com 5 torres e 30 aptos.	6 Residenciais (horizontais e verticais)

Fonte: Os autores

As três empresas possuem projetos com elevada repetitividade, e ferramentas e práticas *Lean* implementadas, podendo ser destacas: o Sistema *Last Planner*, o Planejamento Baseado em Localização, e um conjunto de indicadores para avaliar a confiabilidade do planejamento e a duração do projeto. A empresa C está envolvida em um trabalho mais amplo de implementação *Lean* que envolve a mudança da cultura, sendo uma empresa de consultoria responsável por tal implementação. Múltiplas fontes de evidência foram usadas em cada projeto.

O trabalho foi dividido em duas etapas principais: (1) Etapa de proposição da ferramenta e (2) Etapa de aplicação e refinamento da ferramenta.

Na Etapa 1 foi proposta a ferramenta para controle da terminalidade a partir de um estudo na empresa A e um estudo na empresa B. Por fazer parte de um trabalho mais amplo, o período para desenvolvimento da ferramenta estendeu-se por 16 meses. As fontes de evidência utilizadas em cada um destes primeiros 2 estudos foram: 2 entrevistas com o engenheiro de obra e o gestor de projetos, que permitiram discutir e propor a ferramenta e a sua aplicação na obra; 4 observações diretas no canteiro de obras, que serviram para testar a ferramenta na coleta e aplicação da mesma; 5 observações participantes nas reuniões de médio prazo e análise de documentos de

planejamento, que serviram para observar como os dados obtidos poderiam dar suporte as discussões de planejamento realizadas.

Na Etapa 2 a ferramenta foi aplicada em 6 empreendimentos da Empresa C ao longo de 12 meses. As fontes de evidência desta etapa foram: observação participante nas reuniões de curto e médio prazo, observação direta nos canteiros de obras, análise dos documentos de planejamento, discussões com a equipe das obras em estudo juntamente com gerente de planejamento e analistas de planejamento. Durante as observações participantes realizadas nos canteiros de obra os autores, juntamente com a equipe da obra, realizavam a aplicação da matriz e coleta de dados dos indicadores. As discussões com as equipes tiveram o objetivo de avaliar os pontos positivos e as oportunidades de melhoria da ferramenta proposta e auxiliaram no refinamento da mesma.

A avaliação da utilidade e aplicabilidade da ferramenta proposta foi sendo realizada ao final de cada ciclo de coleta, processamento e análise de dados em cada um dos estudos, seguindo critérios de utilidade e facilidade de uso.

3 RESULTADOS

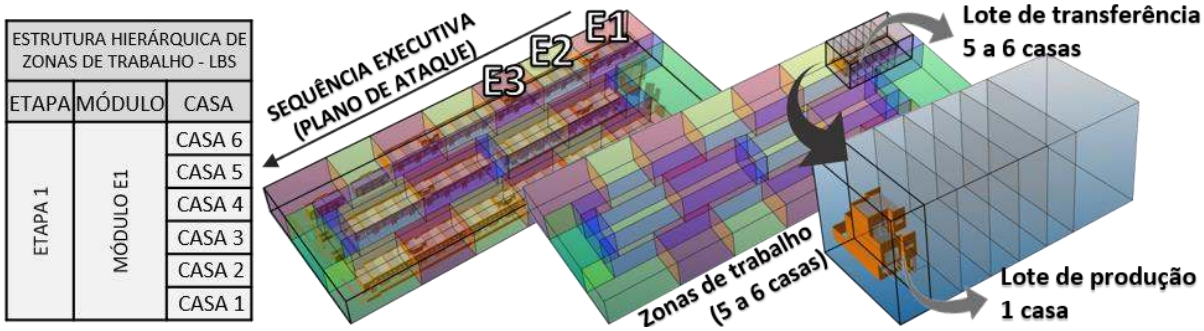
3.1 Ferramenta para Controle da Terminalidade

3.1.1 Planejamento baseado em Localização e o BIM

A modelagem da informação (BIM) desempenhou um importante papel na definição e visualização das zonas de trabalho. Para exemplificar, no empreendimento da Empresa A, representado por meio da Figura 1, as zonas de trabalho eram compostas por um conjunto de 5 ou 6 casas, definidas em função da solução construtiva adotada para a fundação (radier) e do ritmo imposto à obra. Conforme apresentado na Figura 1, o lote de produção para a maioria das atividades planejadas era composto por 1 casa, enquanto o lote de transferência era composto por 5 ou 6 casas. A inclusão desta Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho no modelo permitiu automatizar a extração de dados (Figura 1).

Ainda, o modelo BIM foi utilizado para o processo de controle da produção durante a execução da obra. O acompanhamento era realizado pela equipe de obra através de imagens geradas a partir do modelo. O mesmo também era utilizado em conjunto com o Sistema *Last Planner*: em reuniões de produção com equipes subcontratadas para reforçar a necessidade de manter a trajetória de execução das atividades planejada e para auxiliar na identificação de restrições.

Figura 1 – Definição das zonas de trabalho diretamente no modelo BIM.



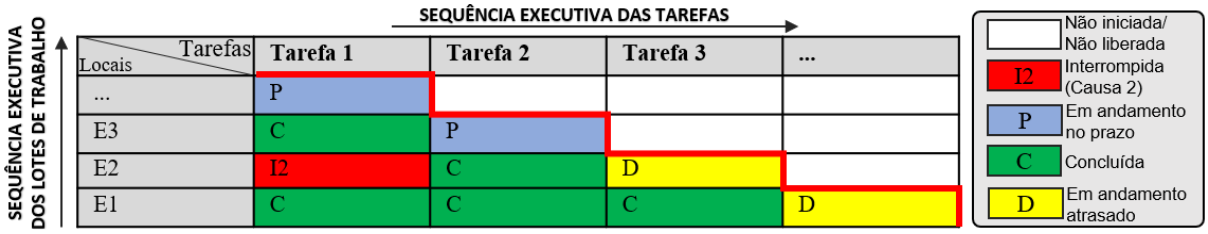
Fonte: Os autores, gerada a partir do software Vico Office.

3.1.2 Matriz para Controle da Terminalidade dos Lotes

A matriz utilizada para controle da terminalidade (Figura 2) relaciona as tarefas (colunas) aos locais de execução ou lotes (linhas). Logo, a matriz deve ser elaborada visando a redução do tamanho dos lotes, para que o controle da terminalidade seja mais eficiente. Esta divisão do trabalho em pequenos lotes deve ser pensada durante a etapa de planejamento de longo prazo do empreendimento. A execução das tarefas (colunas da matriz) também deve ser objeto de análise antecipada, considerando que estas devem ter uma sequência lógica de execução (da esquerda para a direita). Esta matriz reúne em uma única interface a sequência executiva das principais tarefas, a trajetória de execução dos lotes de trabalho, o trabalho em progresso e a falta de terminalidade dos lotes. Ainda, ela fornece uma visão sistêmica do status das atividades ao longo da obra, no formato de um mapa do projeto que permite monitorar o progresso da construção.

Para cada lote e tarefa deve ser informada uma letra que representa um status: "P" para atividades em andamento no prazo, "D" para atividades em andamento atrasadas e "C" para atividades concluídas (Figura 2). No caso de ocorrência de interrupções de trabalho, deve-se apontar uma causa para a parada na respectiva célula da matriz. A Figura 2 apresenta um exemplo onde foi identificada a interrupção da Tarefa 1 no Lote E2, sendo que a Causa 2 foi atribuída a falta de terminalidade definida como "I2". Esta ferramenta permite que ações sejam realizadas de modo a evitar que as causas voltem a ocorrer, promovendo uma melhoria contínua na tentativa de aumentar a terminalidade dos lotes.

Figura 2 – Matriz para Controle da Terminalidade dos Lotes



Fonte: Os autores

3.1.3 Indicador de Terminalidade de Lotes (ITL)

Este indicador monitora o número de lotes com terminalidade, ou seja, lotes onde a atividade foi totalmente concluída com qualidade. O indicador é calculado a partir da equação apresentada na Figura 3, considerando a relação entre o número de lotes de trabalho em que a atividade foi iniciada, mas não finalizada e o total de lotes de produção (em andamento e interrompidos). Os lotem em andamento compreendem tanto os lotes no prazo como os atrasados. Os lotes que tiveram as tarefas concluídas ou não iniciadas são desconsiderados no cálculo deste indicador.

Figura 3 – Indicador de Terminalidade dos Lotes

$$\text{Indicador de Terminalidade de Lotes} = \left(1 - \frac{\text{Lotes de trabalho interrompidos (I)}}{\text{Lotes de trabalho interrompidos (I) + Lotes em andamento (P+D)}}\right) \times 100$$

Fonte: Os autores

3.2 Processo de aplicação da ferramenta

O processo de aplicação da ferramenta deve ser precedido de uma etapa de planejamento na qual serão definidos o tamanho dos lotes (dividir o empreendimento em pequenos lotes) e a sequência de execução das atividades. Nesta etapa o uso do BIM tem potencial para auxiliar na visualização de possíveis cenários para a execução. A partir dessas decisões é possível gerar a Matriz para Controle da Terminalidade dos Lotes.

A implementação da ferramenta deve iniciar com uma capacitação dos envolvidos para seu uso, principalmente explicitando os benefícios de manter a sequência de construção proposta (sem saltar lotes ou atividades) e de garantir a terminalidade. O processo de aplicação da ferramenta envolve as etapas de coleta, processamento e análise dos dados e informações.

Coleta de dados: os dados de terminalidade devem ser coletados semanalmente por um profissional que possa avaliar se as tarefas foram totalmente concluídas e se apresentam qualidade aceitável. Esta conferência pode ser realizada em conjunto com o monitoramento das tarefas do plano semanal, a fim de limitar o tempo adicional para coleta e processamento de dados. O status das tarefas em cada lote deve ser registrado na Matriz para Controle da Terminalidade dos Lotes (Figura 2).

Processamento dos dados: o processamento inclui o armazenamento, a representação e a divulgação dos dados. Uma vez processados os dados, são geradas informações que podem ser utilizadas para a tomada de decisão em diferentes instâncias de análise. Para tanto, a informação deve ser apresentada de forma acessível e de fácil compreensão para todos os envolvidos. A partir da matriz de terminalidade, que é utilizada como um dispositivo visual, são gerados os indicadores e gráficos que darão suporte à análise.

Análise dos dados e informações: a análise dos dados e informações de terminalidade está fortemente relacionada ao nível de planejamento de médio prazo (ou *look-ahead*), de forma que a equipe tenha tempo para realizar ações em decorrência das análises. Em obras residenciais com mais de 12 meses de duração (características da amostra do presente estudo), as reuniões de médio prazo geralmente são realizadas com uma frequência quinzenal e com horizonte de planejamento de 8 a 12 semanas. Assim, sugere-se que a análise da falta de terminalidade, bem como suas causas sejam discutidas nestas reuniões quinzenais, de forma a fomentar uma melhor análise de restrições e a definição de ações corretivas.

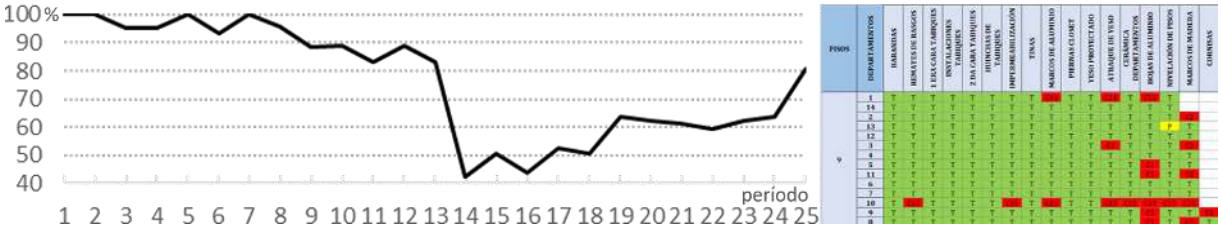
A análise dos dados pode ser realizada sob duas perspectivas: análise da terminalidade do lote (linha da matriz) e análise da terminalidade da tarefa (coluna da matriz). Ainda, a matriz de terminalidade fornece uma avaliação em relação ao volume de trabalho em progresso (número de frentes de trabalho abertas simultaneamente), permitindo analisar se as equipes estão seguindo a trajetória definida e monitorar se os processos estão sendo executados conforme a sequência planejada (Figura 2).

4 ANÁLISES

A ferramenta proposta emergiu na Etapa 1 deste trabalho, a partir da sua aplicação em dois empreendimentos. Depois a ferramenta foi implementada e refinada em 6 empreendimentos na Etapa 2. As melhorias consolidadas na Etapa 2 estão diretamente relacionadas a inserção do controle de terminalidade na cultura da Empresa C. A ferramenta foi associada aos ciclos de médio prazo do LPS, gerando

análises antes de tais reuniões e indicadores quinzenais. O indicador passou a integrar o quadro de gestão visual da Empresa C e passou a ser uma ferramenta de controle de médio prazo. A Figura 4 apresenta, em um dos empreendimentos da Empresa C, a evolução do ITL a cada período (intervalos quinzenais) e um exemplo de parte da matriz de terminalidade do nono pavimento no período 17. A partir da aplicação da ferramenta, observou-se que a falta de terminalidade apresenta diferentes níveis de incidência e criticidade de acordo com o estágio da construção, sendo mais recorrente na etapa final das obras, devido ao número de tarefas e equipes.

Figura 4 – Evolução do ITL e Matriz para Controle de Terminalidade.



Fonte: Os autores.

A Matriz para Controle da Terminalidade dos Lotes e o Indicador de Terminalidade fornecem uma representação do status da produção no momento da coleta de dados, sendo que a matriz pode ser utilizada como um dispositivo visual para monitorar o trabalho em progresso (Figura 4). Durante as reuniões de planejamento de médio prazo, este dispositivo visual apoiou a identificação de tarefas críticas relacionadas à falta de terminalidade, suas causas raízes e restrições relacionadas. O monitoramento da terminalidade dos lotes de produção, juntamente com gráficos de desvio de ritmo da produção, permitiu que os planejadores tomassem decisões proativas. Os gestores começaram a focar na terminalidade dos lotes para monitorar o progresso real da construção. Os responsáveis pela coleta de dados ficaram mais atentos aos parâmetros de controle de qualidade e consequentemente apresentaram maior conhecimento para monitorar a terminalidade dos lotes. Consequentemente, as equipes de produção começaram a verificar se todos os recursos necessários estavam disponíveis antes de começar a trabalhar. Portanto, um processo de melhoria contínua foi estabelecido, considerando que os problemas eram resolvidos antes de se tornarem recorrentes. Gradualmente a equipe passou a dar mais importância à terminalidade e à sequência executiva das atividades e lotes.

5 AVALIAÇÃO DA UTILIDADE E APLICABILIDADE DA FERRAMENTA PROPOSTA

Observou-se que a ferramenta permitia, de forma sistemática, obter dados relevantes para discussões em reuniões de médio prazo, principalmente para identificar restrições e tomar decisões relacionadas a cada uma das atividades controladas. Salienta-se que, embora a ferramenta apresentada possa ser adotada em métodos de planejamento tradicionais, sua implementação é facilitada pelo uso de métodos de planejamento e controle baseados em localização e também pelo uso do BIM para definir a Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho. A implementação da ferramenta foi realizada em projetos com uma repetitividade considerável, o que facilitou a aplicação da mesma.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho propôs uma ferramenta para controle da terminalidade baseada no

planejamento baseado em localização com suporte do BIM. A ferramenta compreende uma Matriz para Controle da Terminalidade dos Lotes, um Indicador de Terminalidade de Lotes e o processo para aplicação da ferramenta. A mesma foi desenvolvida a partir de 2 estudos em empreendimentos residenciais e foi aplicada e refinada em outros 6 empreendimentos residenciais.

O uso do modelo BIM para definição dos lotes de trabalho permite que se explicite cada unidade de controle da terminalidade, facilitando a compreensão da divisão do projeto em locais para coleta e análise dos dados de terminalidade. A matriz proposta permite ter uma visão sistêmica da terminalidade das atividades controladas, permitindo ter uma visão do status da produção, identificar restrições e tomar decisões mais fundamentadas em reuniões de médio prazo. O indicador proposto, permite obter dados do progresso real da produção em abordagens LBP, além de permitir acompanhar a terminalidade ao longo do projeto e tomar melhores decisões a respeito de cada uma das tarefas analisadas. Ainda, a ferramenta, quando aliada ao LBP permite um melhor monitoramento do trabalho em progresso.

Estudos futuros podem explorar a aplicação da ferramenta proposta neste trabalho em projetos não repetitivos para avaliar sua utilidade e aplicabilidade.

REFERÊNCIAS

BABUROGLU, O. N.; RAVN, I. Normative Action Research. **Organization Studies**, v. 13, n. 1, p.19–34, 1992.

BRAGLIA, M.; GABBRIELLI, R.; MARRAZZINI, L. Overall Task Effectiveness: a new Lean performance indicator in engineer-to-order environment. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 68, n. 2, p. 407-422, 2019.

BJÖRNFOT, A.;JONGELING, R. Application of line-of-balance and 4D CAD for lean planning. **Construction innovation**, v. 7, n. 2, p. 200-211, 2007.

FIREMAN, M.; FORMOSO, C.; ISATTO, E. Integrating Production and Quality Control: Monitoring Making-do and Unfinished Work. In: Proc. 21th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction, Fortaleza, Brazil, 2013. **Proceedings...** Fortaleza, 2013.

HOLMSTRÖM, J.; KETOKIVI, M.; HAMERI, A. P. Bridging Practice and Theory: A Design Science Approach. **Decision Science**, v. 40, n. 1, p. 65–87, 2009.

KENLEY, R.; SEPPÄNEN, O. **Location-based Management for Construction. Planning, Scheduling and Control**. Routledge, 2010.

KIM, Y.; BALLARD, G. Earned value method and customer earned value. **Journal of Construction Research**, v. 3, n. 01, p. 55-66, 2002.

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

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 4, p. 251–266, 1995.

SARHAN, S.; FOX, A. Performance measurement in the UK construction industry and its role in supporting the application of lean construction concepts. **Construction Economics and Building**, v. 13, n. 1, p. 23-35, 2013.

VARGAS, F. B. **Método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho e BIM**. Porto Alegre, 2018. 179f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.