PROPOSTA DE MÉTODO PARA MONITORAMENTO VISUAL SISTEMÁTICO DO PROGRESSO DE OBRAS BASEADO EM MAPEAMENTOS 3D POR VANT E BIM 4D[1]

ÁLVARES, J., Universidade Federal da Bahia, e-mail: alvares.juliana@hotmail.com; COSTA, D., Universidade Federal da Bahia, e-mail: dayanabcosta@ufba.br; BARBOSA, A., Universidade Federal da Bahia, e-mail: amanda-dsb-@hotmail.com

ABSTRACT

The activities of construction progress monitoring and controlling are important for an efficient construction management as planned. Even as studies propose the use of visual data technologies to improve these activities, few of them directly address the systematic integration of those tools for progress monitoring with construction management systems. The present study proposes a method for a systematic visual progress monitoring of construction, supported by construction sites 3D mappings using Unmanned Aerial Vehicle and Building Information Modeling (BIM), integrating with production planning and control process. The research method, which uses Design Science Research, consists of five steps. However, the focus of this paper is the artifact proposal development step, developed from an exploratory study in a construction project, which includes a diagnosis of the adopted production planning and control system, and tests of tools and practical processes associated with the proposed method. As the main contribution, the proposed method presents an integrated management system on three steps, respectively associated to long-term, look-ahead and short-term planning: (1) Project as-planned BIM models development; (2) Systematic monitoring of construction progress based on visual comparison of as-planned and as-built construction status; (3) Visual record of the construction site status and short-term activities monitoring.

***Keywords**: Construction progress monitoring. 3D mapping. Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Building Information Modeling (BIM). BIM 4D.*

1 INTRODUÇÃO

As obras de construção são caracterizadas por seu grande dinamismo, complexidade e diversidade de atividades e processos (TUTTAS *et al*., 2017). Por isso, o desenvolvimento da etapa de produção conforme previsto em planejamento só é possível mediante monitoramento e controle sistemático de suas operações e progresso.

Del Pico (2013) define o processo de monitoramento e controle do progresso da obra como passos e métricas que objetivam avaliar o desempenho atual da construção e compará-lo com o planejado, identificando desvios.

No entanto, segundo Teizer (2015) e Yang *et al*. (2015), as práticas mais usuais para monitoramento do progresso de obras são, em geral, baseadas em frequentes observações individuais e dependem de documentação textual. Por isso, consomem muito tempo, são propensas a erros, e resultam num distanciamento e atraso na troca de informações entre campo e gerência

[1] ÁLVARES, J.; COSTA, D.; BARBOSA, A. Proposta de método para monitoramento visual sistemático do progresso de obras baseado em mapeamentos 3D por VANT e BIM 4D. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

(MARTÍNEZ-ROJAS; MARÍN; VILA, 2016; TEIZER, 2015).

Pensando na melhoria de tais aspectos, estudos apontam o uso de tecnologias de dados visuais, tais como fotografias, vídeos, modelos 3D e 4D (YANG *et al*., 2015; HAN; GOLPARVAR-FARD, 2017). Segundo Tezel e Aziz (2017) o uso dessas ferramentas pode contribuir na redução de atividades que não agregam valor e que demandam tempo e recursos, associadas ao monitoramento de obras. Tais benefícios estão relacionados à automatização de algumas tarefas e possibilidade de uma gestão visual integrada entre o planejamento e controle das atividades e o desempenho da produção, tornando o processo de monitoramento do progresso mais transparente e colaborativo (TEZEL; AZIZ, 2017; LIN; GOLPARVAR-FARD, 2017).

Dentre estas tecnologias, pesquisas recentes destacam o uso de modelos BIM 4D, que representam a evolução visual da obra conforme planejada, juntamente com mapeamentos 3D do atual estado da construção (muitas vezes na forma de modelo de nuvem de pontos), desenvolvidos a partir do processamento fotogramétrico de imagens registradas com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) (HAN; GOLPARVAR-FARD, 2017; LIN; GOLPARVAR-FARD, 2017; HAN; DEGOL; GOLPARVAR-FARD, 2018).

Apesar desta nova abordagem, é possível perceber uma lacuna entre os estudos recentes, quanto à integração sistematizada dessas tecnologias visuais para monitoramento do progresso às dinâmicas de gerenciamento das obras. Assim, este estudo tem por objetivo propor um Método para monitoramento visual sistemático do progresso da construção, baseado em mapeamentos 3D do canteiro com uso de VANT e modelos BIM, integrado ao processo de planejamento e controle da obra.

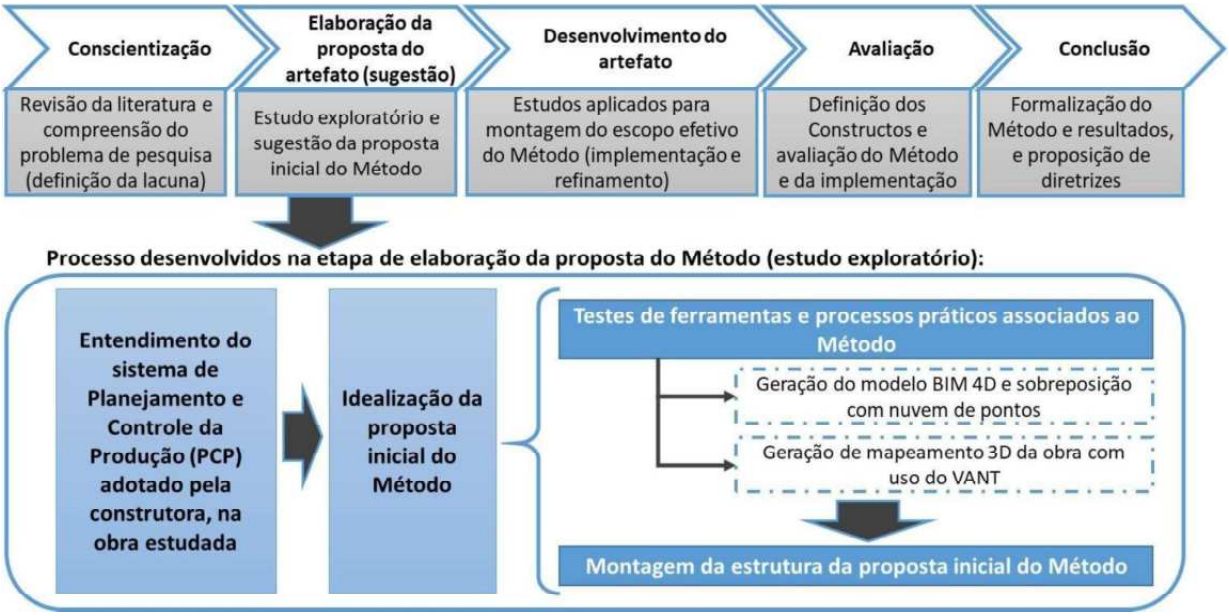
Este trabalho faz parte de uma pesquisa de mestrado em desenvolvimento. Dessa forma, o escopo desse artigo está focado no aprofundamento de uma das etapas dessa pesquisa, cujo produto principal é o desenvolvimento da proposta inicial do referido Método.

2 METODOLOGIA

A estratégia de pesquisa adotada é a *Design Science Research*, tendo como artefato o Método proposto. A pesquisa está sendo desenvolvida a partir das etapas apresentadas na Figura 1.

Como este artigo está focado nas atividades e resultados da etapa de Elaboração da proposta do artefato, o esquema apresentado na Figura 1 contém apenas o detalhamento dos processos desta etapa. Tais processos foram desenvolvidos a partir de um estudo exploratório prático em canteiro.

Figura 1 – Delineamento das etapas da pesquisa, detalhando a "Elaboração da proposta do Método"



Fonte: As autoras.

O empreendimento no qual o estudo exploratório foi desenvolvido corresponde à obra cujas principais características são apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Caracterização do empreendimento



Fonte: As autoras.

2.1 Processo de entendimento do sistema de PCP adotado

Para o entendimento do sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) adotado na obra, foram realizadas as atividades e ações especificadas na Figura 3.

Figura 3 – Atividades e ações realizadas para entendimento do sistema de PCP

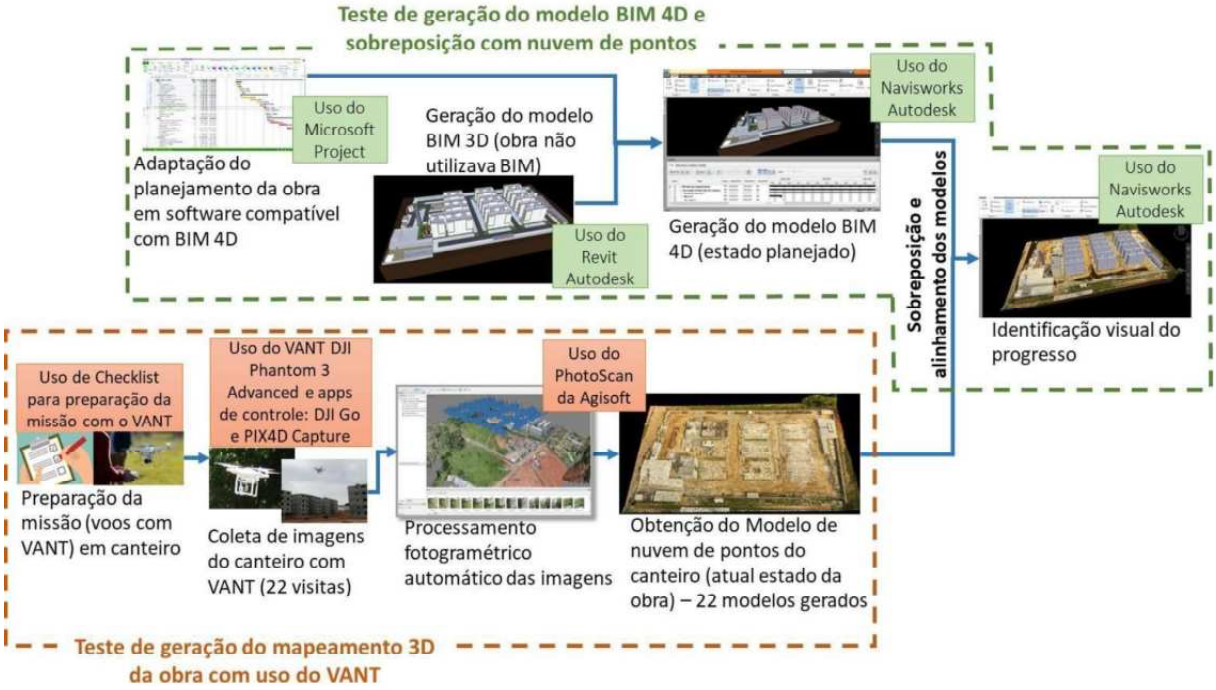
Atividades	Apresentação geral do empreendimento e conhecimento do local da obra	Conhecimento da estrutura geral da construtora	Entrevistas para conhecimento do processo de PCP adotado na obra	Análise documental	Acompanhamento das reuniões de planejamento e controle mensal (médio prazo)
Ações	Duas visitas de campo ao canteiro	Duas reuniões com equipe de coordenadores e diretoria da construtora	Três entrevistas semiestruturadas com gestor, eng. de campo e eng. de planejamento da obra	Acesso à documentação de projeto, planejamento e controle para consulta	Acompanhamento de 4 reuniões

Fonte: As autoras.

2.2 Processo de idealização da proposta do Método

O processo de elaboração da proposta inicial do Método incluiu dois testes: (a) geração do mapeamento 3D da obra usando VANT; (b) geração do modelo BIM 4D e sobreposição com nuvem de pontos do mapeamento 3D, conforme Figura 4.

Figura 4 – Testes de ferramentas e processos práticos associados ao Método



Fonte: As autoras.

A partir desses testes e da revisão da literatura, foi elaborada a estrutura da proposta inicial do Método. Esta será testada e refinada nas etapas seguintes de Desenvolvimento do Artefato, Avaliação e Conclusão.

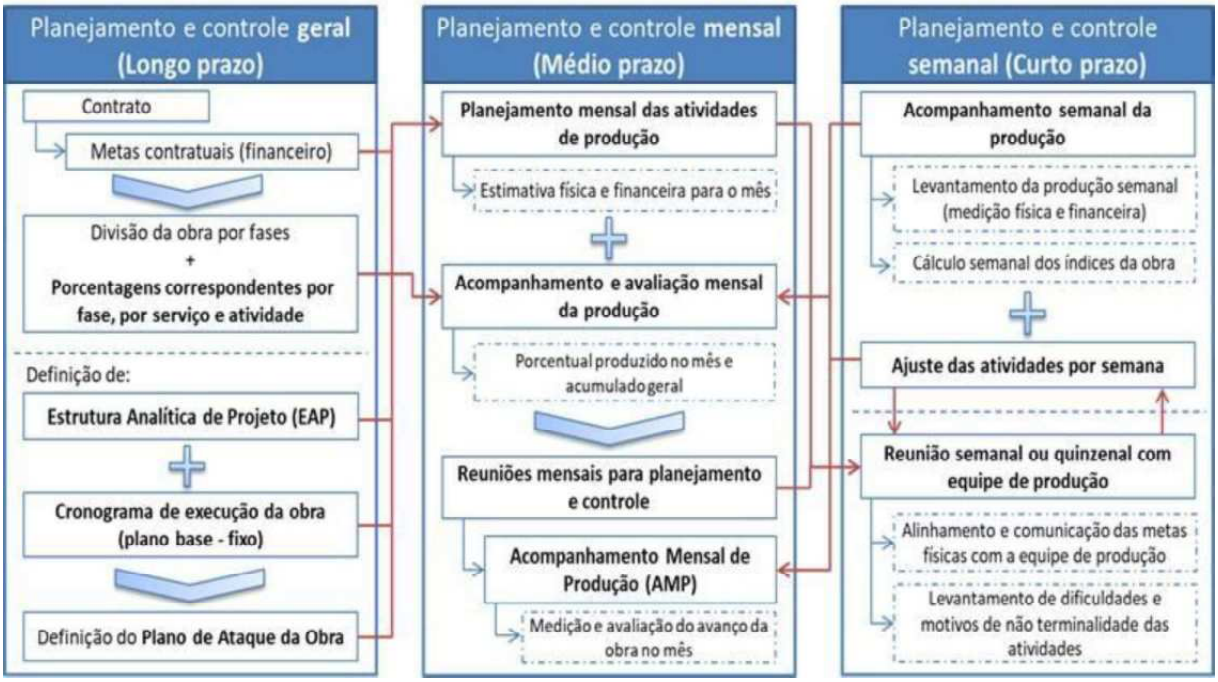
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Sistema de PCP adotado

A partir do entendimento do sistema de PCP adotado, foi elaborado o

esquema apresentado na Figura 5, que apresenta o fluxo de informações e procedimentos referentes aos níveis hierárquicos de planejamento e controle da obra.

Figura 5 – Estrutura geral simplificada do sistema de PCP adotado



Fonte: As autoras.

Foi possível perceber que o sistema adotado não segue a estrutura e procedimentos do sistema *Last Planner* e possui pontos particulares. O nível hierárquico mais bem estruturado é o médio prazo, tendo como principal característica o planejamento e o controle do cumprimento de uma meta de produção mensal. Em relação ao longo prazo, apesar de estrutura definida, foi percebido pouco envolvimento da gestão direta da obra na sua elaboração. No curto prazo, identificou-se pouca padronização e sistematização dos processos, tendo como principal aspecto a medição semanal da produção.

Este mapeamento do sistema de PCP resultou num melhor direcionamento para os testes de ferramentas e processos práticos preparatórios, bem como suporte ao desenvolvimento da proposta do Método, sendo destacado o entendimento da necessidade de uma proposta mais abrangente, possível de ser adaptada a diferentes tipos de sistemas de PCP.

3.2 Testes para idealização da proposta do Método

Os testes ligados à geração de mapeamentos 3D da obra usando VANT permitiram estudo e definição de pontos importantes à elaboração do Método, tais quais:

- Estruturação do procedimento para coleta de imagens com VANT no canteiro e geração de mapeamento 3D;

- Aprimoramento de um protocolo de voo e desenvolvimento de protocolo para preparação de missão com VANT;
- Definição dos parâmetros para processamento das imagens no PhotoScan, equilibrando tempo médio de processamento e qualidade visual das informações na nuvem de pontos gerada.

Os mapeamentos 3D gerados eram disponibilizados para a equipe gerencial da obra e utilizados, ainda que de maneira não sistematizada e integrada, no suporte ao acompanhamento visual das atividades e na elaboração de relatórios fotográficos. Como benefícios, foram destacadas a melhoria na documentação do progresso da obra, e a possibilidade de visualização do atual estado do canteiro de maneira mais rápida, fácil e completa, diminuindo a necessidade de visitas ao campo.

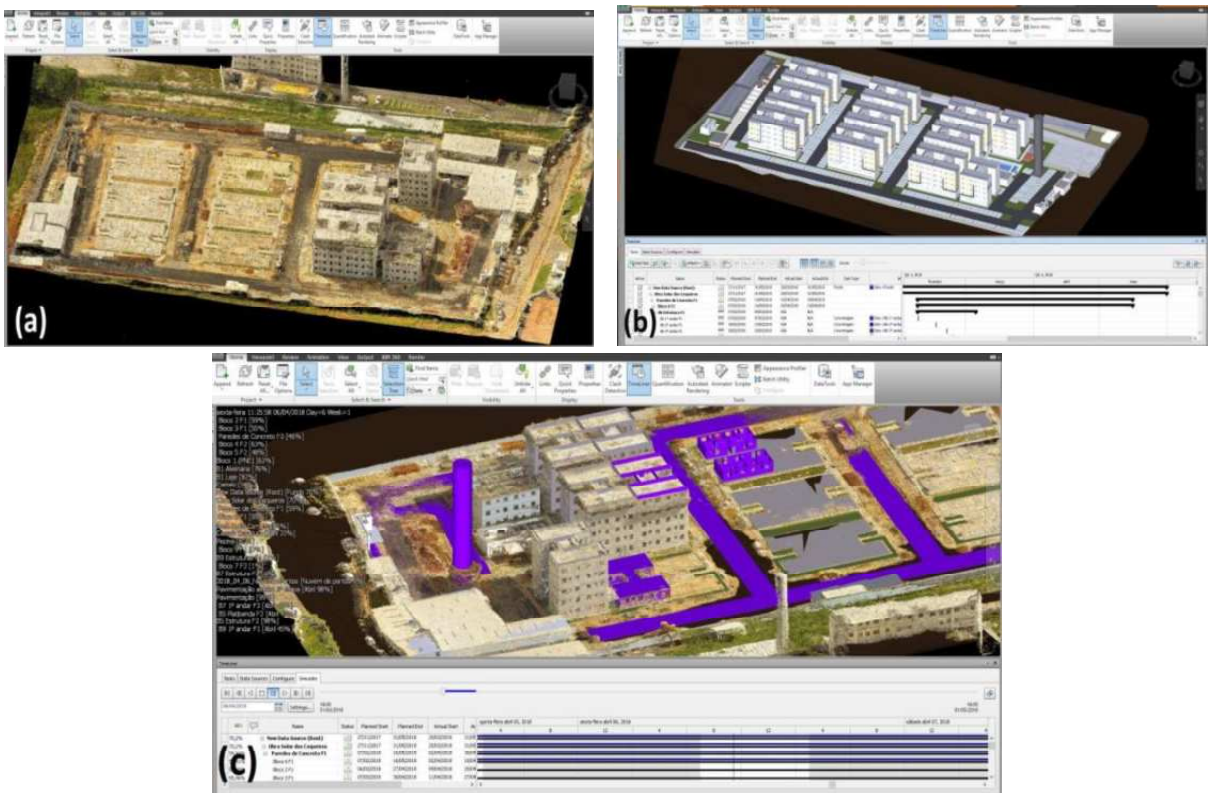
Já em relação aos pontos relevantes dos testes de geração do modelo BIM 4D e sobreposição com nuvem de pontos, destacou-se como principal pré-requisito para uma sobreposição adequada, a possibilidade de identificar visualmente as compatibilidades e desvios entre o progresso planejado e o obtido na obra.

Para a realização da sobreposição, a nuvem de pontos gerada no PhotoScan era exportada do em formato *.las* e convertida para um arquivo *.rcp* com apoio do software Revit. Este arquivo *.rcp* era então importado para o arquivo do modelo BIM 4D no Navisworks. O alinhamento para sobreposição do modelo de nuvem de pontos ao modelo BIM foi realizado manualmente, com uso das ferramentas de medição (ponto a ponto e ângulo) e de movimentação e rotação de objetos do software Navisworks. Apesar desse alinhamento ter sido considerado relativamente simples, estuda-se a possibilidade de alinhamento automático pelo georreferenciamento do modelo BIM, uma vez que a nuvem de pontos gerada no mapeamento 3D com o VANT já é georreferenciada.

Além disso, foi também criada uma atividade correspondente à nuvem de pontos na *timeline* do modelo 4D no Navisworks, com link ao elemento do modelo de nuvem de pontos importado e com data de início e fim da atividade igual a data de registro da nuvem de pontos no canteiro. Sendo possível, portanto, a representação visual do atual estado do canteiro em sobreposição ao estado planejado (para determinado período da construção) em simulação 4D.

Dessa forma, a partir da simulação 4D com os modelos sobrepostos foi possível identificar visualmente atividades em conformidade e desvios no progresso (atividades atrasadas ou adiantadas). As atividades em conformidade, quando analisado determinado período da obra, eram visualmente identificadas em ambos os modelos (modelo de nuvem de pontos e BIM 4D), aquelas atrasadas eram visualizadas apenas no modelo BIM 4D e as adiantadas somente no modelo de nuvem de pontos. A Figura 6 apresenta exemplos de modelos do empreendimento.

Figura 6 – Modelos gerados: (a) Nuvem de pontos; (b) BIM 4D; (c) Modelos sobrepostos em simulação 4D



Nota: Os elementos do modelo BIM destacados em roxo na simulação 4D com os modelos sobrepostos (Figura 6 (c)), representam as atividades que deveriam estar sendo executadas na data analisada de acordo com o planejamento da obra.

Fonte: As autoras.

3.3 Proposta do Método

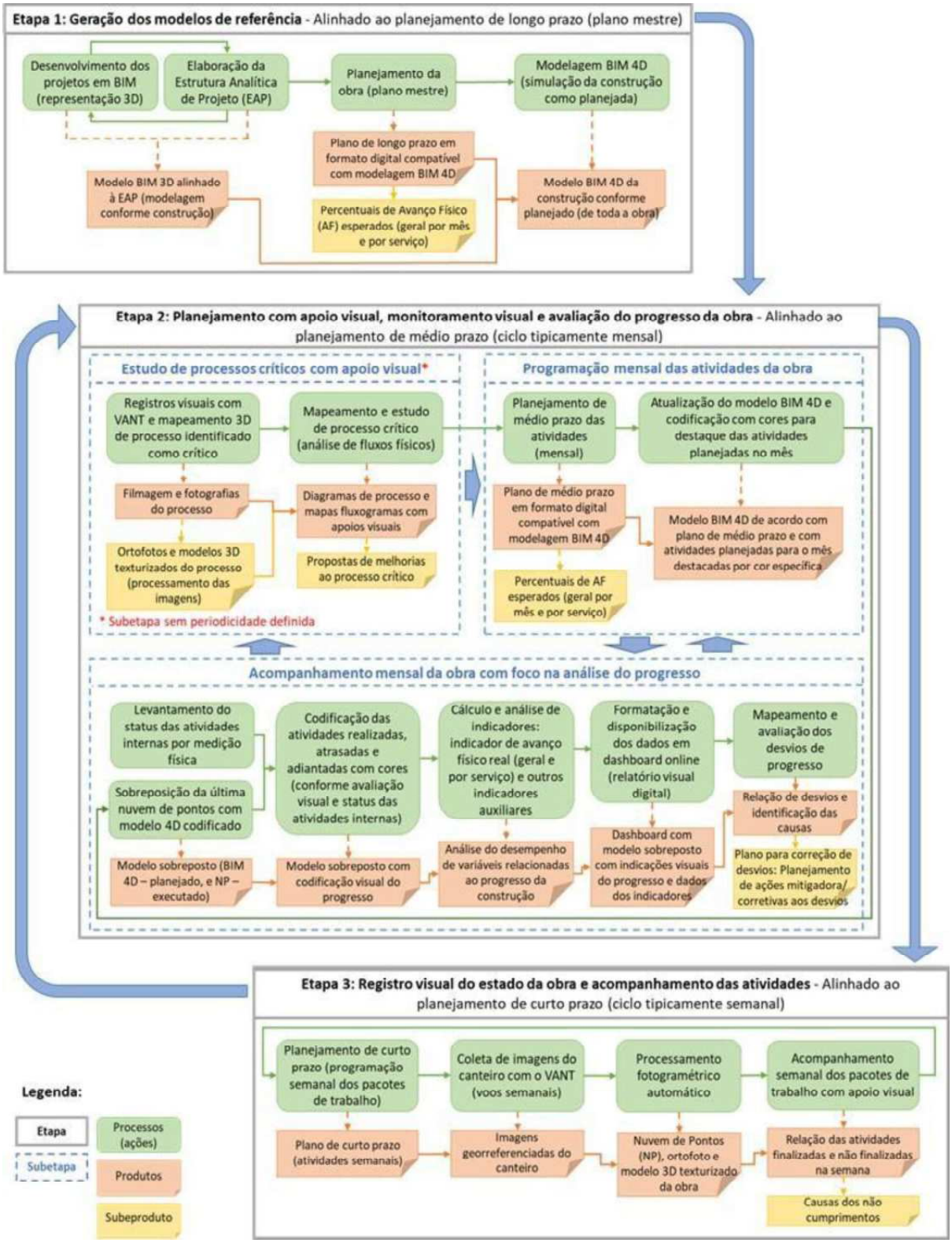
A partir desses testes e da revisão da literatura, a proposta inicial de Método para monitoramento visual sistemático do progresso foi desenvolvida, visando a integração das tecnologias propostas aos processos de planejamento e controle de obras. O Método inclui uma sistemática com procedimentos gerenciais de preparação, coleta, processamento, análise e tomada de decisão em relação ao avanço da obra e possíveis desvios de progresso, com base em dados visuais (que representam o estado atual do canteiro e estado planejado), além de suporte de dados não visuais, como medição direta do progresso de atividades não visíveis no mapeamento 3D, e acompanhamento de indicadores de desempenho.

A Figura 7 apresenta o esquema com a proposta inicial do Método. Seus processos e produtos estão organizados em três grandes etapas, respectivamente associadas ao planejamento de longo, médio e curto prazo:

- **Etapa 1:** geração dos modelos de referência do projeto;
- **Etapa 2:** acompanhamento visual sistemático e monitoramento integrado do progresso da construção;
- **Etapa 3:** registro visual do estado atual da obra e acompanhamento das atividades a curto prazo.

As Etapas 1 e 3 funcionam como geradoras de informações de entrada para os processos e análises realizados na Etapa 2 (etapa principal).

Figura 7 – Proposta inicial do Método para monitoramento visual do progresso



Fonte: As autoras.

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho aborda a elaboração da proposta de um Método para monitoramento visual sistemático do progresso de obras, baseado em mapeamentos 3D do canteiro com uso de VANT e modelos BIM, integrado ao processo de planejamento e controle da obra. Para tal, além da revisão da literatura, foram desenvolvidas atividades preparatórias, como o entendimento do sistema de PCP adotado em obra na qual foi realizado estudo exploratório, e testes de ferramentas e processos práticos associados ao Método.

A partir da aplicação de tal proposta, espera-se a melhoria da comunicação, compreensão, avaliação e documentação do progresso da construção, de forma a proporcionar melhores fluxos de informação e maior transparência aos processos. Espera-se também facilitar e otimizar a identificação de desvios e atrasos, possibilitando um melhor cumprimento das metas planejadas e atendimento aos prazos.

Este estudo faz parte de uma pesquisa maior que objetiva, além de propor, aplicar e avaliar a utilidade e contribuições desse Método. Tal aplicação e avaliação estão ainda em desenvolvimento, conforme etapas seguintes da pesquisa apresentadas na Metodologia.

REFERÊNCIAS

DEL PICO, W. J. **Project Control: Integrating Cost and Schedule in Construction**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

HAN, K. K.; GOLPARVAR-FARD, M. Potential of big visual data and building information modeling for construction performance analytics: An exploratory study. **Automation in Construction**, v. 73, p. 184-198, 2017.

HAN, K.; DEGOL, J.; GOLPARVAR-FARD, M. Geometry- and Appearance-Based Reasoning of Construction Progress Monitoring. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 144, 2018.

LIN, J. J.; GOLPARVAR-FARD, M. Proactive Construction Project Controls via Predictive Visual Data Analytics. In: ASCE INTERNATIONAL WORKSHOP ON COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 2017, Seattle. **Proceedings...** Seattle: ASCE, 2017. p. 147-154.

MARTÍNEZ-ROJAS, M.; MARÍN, N.; VILA, M. A. The role of information technologies to address data handling in construction project management. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 30, 2016.

TEIZER, J. Status quo and open challenges in vision-based sensing and tracking of temporary resources on infrastructure construction sites. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, p. 225-238, 2015.

TEZEL, A.; AZIZ, Z. From Conventional to IT Based Visual Management: A Conceptual Discussion for Lean Construction. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 22, p. 220-246, 2017.

TUTTAS, S.; BRAUN, A.; BORRMANN, A.; STILLA, U. Acquisition and Consecutive Registration of Photogrammetric Point Clouds for Construction Progress Monitoring Using a 4D BIM. **Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation**, v. 85, p. 3-15, 2017.

YANG, J.; PARK, M.-W.; VELA, P. A.; GOLPARVAR-FARD, M. Construction performance monitoring via still images, time-lapse photos, and video streams: Now, tomorrow, and the future. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, p. 211-224, 2015.