

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONTRUÇÃO CIVIL - DACOC  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

KIM MARODIN MARQUES DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA  
CONTROLE DE FLUXOS DE TRABALHO E MATERIAIS EM  
CANTEIRO DE OBRAS COM BASE EM CONCEITOS DA  
CONSTRUÇÃO ENXUTA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2019

KIM MARODIN MARQUES DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA  
CONTROLE DE FLUXOS DE TRABALHO E MATERIAIS EM  
CANTEIRO DE OBRAS COM BASE EM CONCEITOS DA  
CONSTRUÇÃO ENXUTA**

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

Orientador: Prof. Dr. Cezar Augusto Romano.

CURITIBA

2019



Ministério da Educação  
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
*Campus Curitiba – Sede Ecoville*  
**Departamento Acadêmico de Construção Civil**  
**Curso de Engenharia Civil**

---

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

### ***DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA CONTROLE DE FLUXOS DE TRABALHO E MATERIAIS EM CANTEIRO DE OBRAS COM BASE EM CONCEITOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA***

Por

**KIM MARODIN MARQUES DE SOUZA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido no segundo semestre de 2019 e aprovado pela seguinte banca de avaliação presente:

---

Orientador – César Augusto Romano, Dr.

UTFPR

---

Prof. Massayuki Mário Hara, MSc.

UTFPR

---

Prof. José Manoel Caron, MSc.

UTFPR

---

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso

---

## RESUMO

SOUZA, Kim Marodin Marques de. Desenvolvimento de ferramenta computacional para controle de fluxos de trabalho e materiais em canteiro de obras com base em conceitos da construção enxuta. 2019. 32 f. Trabalho de conclusão de curso – Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Esta pesquisa apresenta uma revisão literária dos conceitos de gestão da produção que deram origem ao modelo de produção denominado de construção enxuta, bem como uma proposta para o desenvolvimento de um programa computacional para gestão de canteiro de obras e implementação de algumas de suas funcionalidades básicas. O trabalho apresenta a estratégia adotada para a concepção do programa, bem como as ferramentas e conhecimentos necessários ao seu desenvolvimento trazendo informações sobre o histórico dos modelos de produção na sociedade, dificuldades encontradas pelo setor da construção civil e uma proposta de que tecnologias encontradas em programas voltados ao entretenimento podem ser adaptadas de forma a produzir uma ferramenta eficiente de gestão.

**Palavras-chave:** Lean, Construção Enxuta, Gestão de Canteiro, RTS

## ABSTRACT

SOUZA, Kim Marodin Marques de. Development of a computational tool for the control of workflows and materials in a construction site based on the concepts of lean construction. 2019. 32 f. Trabalho de conclusão de curso – Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

This research presents a literary review of the concepts of production management that gave origin to the model of production called lean construction, as well as a proposal for the development of a computational program for management of construction sites. It presents the strategy adopted for the conception of the program, as well as the tools and knowledge necessary for its development, containing information about the history of production models in society, the issues encountered by the construction industry and a proposal that technologies found in programs from the electronic entertainment industry can be adapted to produce an efficient management tool.

**Palavras-chave:** Lean, Lean Construction, Construction site management, RTS

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tela do programa .....	24
Figura 2 - Câmera .....	27
Figura 3 - Recursos .....	28
Figura 4 – Estrutural BIM .....	28
Figura 5 – Operário e recursos .....	29
Figura 6 – Navegação e obstáculos .....	29

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	7
1.1	OBJETIVO GERAL .....	9
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
1.3	JUSTIFICATIVA .....	9
2	REFENCIAL TEORICO .....	11
2.1	TRABALHO E ORGANIZAÇÃO .....	11
2.2	TAYLORISMO .....	12
2.3	FORDISMO .....	12
2.4	SISTEMA TOYOTA .....	13
2.5	CONCEITOS FUNDAMEINTAISS DO SISTEMA TOYOTA .....	16
2.5.1	Just in time .....	16
2.5.2	Jikoda ou autonomia .....	16
2.5.3	Kaizen ou melhoria contínua .....	16
2.5.4	Kanban .....	17
2.6	CONSTRUÇÃO ENXUTA .....	17
2.8	DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARES .....	18
3.	METODOLOGIA .....	20
3.1	DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS.....	20
3.2	DESIGN E IMPLEMENTAÇÃO .....	20
3.3	VERIFICAÇÃO .....	23
4.	RESULTADOS OBTIDOS .....	24
4.1	CÂMERA PANORÂMICA .....	24
4.2	GERENCIADOR DE RECURSO .....	24
4.3	IMPORTAÇÃO DE UM MODELO REVIT .....	25
4.4	NAVEGAÇÃO E OBSTÁCULOS .....	26
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	27
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	28

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção Civil é responsável por grande parte do PIB do Brasil e possui grande representatividade na iniciativa privada. Segundo os dados da Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC) de 2016 divulgada pelo IBGE, considerando incorporações, obras e serviços da construção, a indústria movimentou cerca de 300 bilhões de reais, sendo em sua maior parte provenientes de entidades privadas e pessoas físicas, ocupando cerca de 2 milhões de pessoas em cerca de 127 mil empresas ativas.

Desse modo, para que tais empresas alcancem posições competitivas no mercado, faz-se necessário alcançar altos parâmetros de qualidade reduzindo ao máximo o prazo e custo do projeto.

Além disso, segundo o pesquisador Nilton Luiz Cararo em “Qualidade: base para inovação” (2012, p. 5), a sociedade está mais consciente dos seus direitos devido ao maior acesso à informação e assim busca empresas onde o processo de produção seja coerente com seus anseios e valores.

Apesar disso, se comparada a outros setores da indústria, a construção civil ainda caminha vagarosamente em relação à otimização dos seus processos construtivos, observando-se uma menor automatização de processos, menor número de atividades utilizando maquinário e tecnologias de ponta e maior incidência de trabalho braçal.

Sarcinelli (2008, p. 8) relata que a construção civil sempre foi objeto de críticas devido a sua baixa produtividade e grande desperdício.

Além disso, os processos produtivos de outros setores normalmente se encontram centralizados em um ambiente industrial e permitem a produção em linhas de montagem, diferentemente dos métodos convencionais da construção civil, onde cada projeto é desenvolvido no seu local de destino final e o produto tem larga escala espacial.

Tal realidade pode ser amenizada em métodos construtivos mais industrializados como o *woodframe*, *steelframe*, pré-fabricados de concreto e obras em alvenaria estrutural, porém ainda existe certa resistência, tanto por parte de clientes quanto das empresas, na adoção de tais métodos, por conta de fatores como a falta de mão de obra especializada e a cultura de tradição da construção convencional estabelecida no Brasil.



O desafio atual das organizações está em adotar medidas que atendam simultaneamente aos interesses sociais e corporativos, estes vistos muitas vezes como interesses antagônicos em um setor da indústria que se encontra muitos passos atrás em relação aos demais segmentos do setor produtivo.

A redução do desperdício de matéria prima e de atividades que não agregam valor ao produto é uma das premissas básicas da metodologia de gestão e gerenciamento da produção enxuta, ou *lean*. Tal metodologia é considerada por alguns autores como uma filosofia de gestão e já vem sendo aplicada há anos em diversos setores industriais, tendo como principal base conceitos do sistema de produção Toyota, da indústria automobilística. (Koskella, 1992, p. 5).

O pensamento enxuto aplicado à indústria da construção civil ainda é extensivamente conceitual e um dos maiores problemas elencados por pesquisadores da área em seus estudos é a falta de aplicação de modelos e programas desenvolvidos por estes em canteiros de obras, como mencionado por Melo (2018, p. 23).

A falta de aplicabilidade destes modelos traz um desafio para implementação de conceitos importantes do pensamento enxuto, como a melhoria contínua, fluxo de trabalho previsível e o controle das estações de produção.

No campo da inovação tecnológica e na gestão de informações relevantes e presentes em diferentes fases do ciclo de vida de uma construção a implementação de softwares de *Building Information Modeling* (BIM) é crescente na indústria. Um modelo BIM consiste em um modelo paramétrico, fortemente associado com apresentação visual do modelo geométrico, e que além da representação visual gráfica, carrega informação (SAMPALIO, 2014).

O contexto atual de desenvolvimento de ferramentas de gestão traz um fenômeno interessante a ser observado. A *gameficação*, termo informal que designa a utilização de elementos e funcionalidades encontrados em jogos eletrônicos fora do contexto do entretenimento para criação de ferramentas que melhorem o engajamento e a usabilidade de um software ou app de outra funcionalidade (DETERDING, SICART, NACKE, O'HARA, DIXON, 2011).

Tal fenômeno tem sua origem observada primeiramente em aplicações voltadas a educação, posteriormente observada em aplicações voltadas a área da saúde e reabilitação, e, mais recentemente voltadas a produção (KORN, MUSCHICK, SCHMIDT, 2016).

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta computacional, com base em conceitos da construção enxuta, softwares BIM e gamificação de interface *user-friendly*, ou seja, que proporcione um manuseio intuitivo do usuário, que permita simular e visualizar fluxos de trabalho e materiais em um canteiro de obras.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definição do modelo conceitual;
- Desenvolvimento da Ferramenta computacional;
- Testes do programa.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

De acordo com Thomas et al (2002) (apud S. A., Abbasian Hosseini; A., Nikakhtar; P, Ghoddousi, 2012, p. 478), segundo os princípios da construção enxuta, deve-se buscar a estabilização do fluxo de produção para que se atinja um grau de previsibilidade de resultados.

Além disso, Alarcón e Calderón (2003) (apud Melo, 2018, p. 19) destacam o planejamento como a etapa de maior impacto no desempenho de um projeto, em contrapartida sua realização ainda ocorre de maneira precária.

Atualmente existem diversos programas que permitem simulações e modelagens de projetos de construção civil. Conforme artigo publicado pela plataforma online Seleção Engenharia, destacam-se separados por categorias de acordo com suas funcionalidades os principais *softwares* (programas) utilizados no ano de 2017, descritos a seguir:

- Programas de CAD ou *Computer-Aided-Manufacturing*, com funções de desenho em 2D e 3D;
- Programas para modelagem em 3D;
- Programas para projetos em BIM ou *Building Information Modeling*, onde além das representações em modelos 2D e 3D, os elementos de projeto contém informações

paramétricas como especificação dos materiais, etapas construtivas, cronogramas e quantitativos;

- Programas para análise estrutural;
- Programas de projetos de instalações elétricas;
- Programas de projetos de instalações hidrossanitárias;
- Programas de planejamento e gestão
- Programas de orçamentos;
- Programas de compatibilização de projetos.

Entre os *softwares* de planejamento e gestão mais utilizados estão o Microsoft Excel, o MsProject, o GanttProject e o Primavera. Tais programas permitem o controle, agendamento de atividades, visualizações de cronogramas e outras ferramentas gráficas de gestão.

Entre os *softwares* BIM mais utilizados destacam-se o Revit, ArchiCAD, TQS, EBERICK e BIM 360 sendo somente o último com funcionalidades focadas em gerenciamento de obras.

A construção civil normalmente ocorre em um canteiro onde as matérias primas para o produto final são convergidas, proporcionando dificuldade na gestão das áreas de estoques intermediários de insumos e conseqüentemente a gestão dos fluxos de trabalho. (KOSKELA, 2000 e BERTELSEN, 2004 apud WIGINESCKI, 2009, p. 42-43)

Koskela (1992, p. 66) cita que esforços para a industrialização, automação e integração computacional em processos de construção precisam ser redefinidos a fim de reconhecer a necessidade de balancear e otimizar atividades de fluxo e de conversão.

Ainda assim, em estudo de caso da aplicação de ferramentas da construção enxuta, Wignescki (2009, p. 125) relata que os problemas mais relevantes foram referentes à implementação de ferramentas voltadas à organização do canteiro de obras.

Observa-se então a oportunidade de desenvolvimento de uma ferramenta voltada a organização de canteiro, com foco na disposição de estoques, fluxos de trabalho e materiais, com o objetivo de auxiliar e complementar os programas existentes em etapas de planejamento e controle.

## 2 REFERENCIAL TEORICO

### 2.1 TRABALHO E ORGANIZAÇÃO

A humanidade vem se desenvolvendo de forma social, política e econômica de maneira dinâmica ao longo de sua existência, desde a época onde a subsistência humana tinha como base a caça e a coleta até os dias atuais. (SARCINELLI, 2008, p. 13).

O conceito de trabalho é considerado como uma atividade fundamental humana (ARENDRT, 2007, p. 510). Em sentido amplo, entende-se o trabalho como um conjunto de atividades intelectuais e manuais desempenhadas pelo homem afim de garantir sua sobrevivência transformando os elementos encontrados na natureza. Da mesma forma que o trabalho é uma realidade inerente à espécie humana, a preocupação com a organização do mesmo também data dos primórdios da vida em sociedade. (PINTO, 2007, p. 7-15)

Segundo Toffler (1980) (apud SARCINELLI, 2008, p. 13), dentro do âmbito do trabalho, a sociedade se manteve voltada predominantemente à agricultura até aproximadamente meados do século XVIII, onde se encontram registros das primeiras manufaturas, unidades produtivas familiares e empresas, onde surgiram as primeiras teorias de administração e da produção, Skinner (1995, p. 200) relata que por muito tempo muitas receitas, fórmulas e sistema para produção de riquezas foram mantidos como segredo de família, corporação ou ofício.

Atualmente existe um vasto registro de modelos de produção adotados pela indústria em diferentes fases do desenvolvimento das teorias de administração e organização do trabalho e que sucessivamente foram adaptadas conforme a necessidade e valores conforme a sociedade evoluía. Womack et al (1990) e Zysman (2003) (apud FLEURY, 2007, p. 951) apontam que as práticas usadas na indústria automobilística serviram como base para o desenvolvimento e organização da indústria como um todo.

No entanto, a reorganização das fábricas e os primeiros estudos referentes à produção são atribuídos ao Frederick Winslow Taylor, que durante a juventude abandonou os estudos para trabalhar em uma fábrica metalúrgica onde desenvolveu o chamado Taylorismo (PINTO, 2007, p. 21).

## 2.2 TAYLORISMO

De acordo com o sociólogo Geraldo Augusto Pinto (2007, p. 20-27) o jovem Taylor, ao observar e medir tempos e deslocamentos realizados por trabalhadores, observou que a produtividade alcançada na indústria era inferior à capacidade real de produção, pois se perdia muito tempo em deslocamentos entre atividades.

A então estratégia desenvolvida por Taylor para contornar esse problema foi a subdivisão das atividades em tarefas específicas para cada operário, de forma que fosse possível controlar o tempo gasto em cada etapa da produção, restringindo as funções dentro da cadeia produtiva e dando origem ao estudo dos tempos e movimentos.

Esse modelo, nomeado de Taylorismo, foi aplicado na indústria e teve grande impacto e adesão, principalmente devido à necessidade de produção em massa gerada pelas guerras mundiais e deu origem a diversos estudos posteriores, como na organização do espaço fabril, visando a otimização do tempo e movimentos.

## 2.3 FORDISMO

Henry Ford foi o fundador da empresa global de automóveis Ford, atuando simultaneamente nas áreas de engenharia de produto e de processos, áreas essas que em conjunto possibilitaram o desenvolvimento e ampliação de diversas inovações técnicas e organizacionais para a melhoria da produção que já estavam ocorrendo no início do século XX, como nas propostas desenvolvidas por Taylor, anteriormente mencionadas.

Em resumo, sua filosofia de gestão consistia na padronização e produção contínua em grande escala, com o intuito de diluir os custos e aumentar o consumo de seus produtos e consequentemente os lucros. (PINTO, 2007, p. 30)

Tal modelo de produção em massa foi possível devido à pouca concorrência e ao mercado de consumo abundante, característico do início do século XX, fazendo com que estoques de produtos não fossem um risco para a empresa, pois seriam eventualmente vendidos (BOYER e FRESSYANT, 2002; CORREA, 2003) (apud SARCINELLI, 2008, p. 14).

Valendo-se dos principais fundamentos do modo de produção Taylorista, a padronização dos produtos e produção em grande escala se tornaram viáveis devido à uniformização do processo de produção através da subdivisão de tarefas. Além disso, outra inovação importante do modelo Fordista é a criação da linha de produção, onde o produto é transportado através da fábrica passando pelas pessoas e máquinas envolvidas em cada etapa do processo do início ao fim da sua montagem.

Oliveira (2008, p. 5), comenta que a criação da chamada linha de produção ocorreu primeiramente na cidade de Michigan, nos Estados Unidos, na fábrica Highland Park no ano de 1913, onde a montagem de automóveis seguia etapas sucessivas de tarefas repetidas por trabalhadores e máquinas, enquanto os carros se deslocavam pela fábrica durante o processo de montagem. O pioneirismo de Ford na implementação de um fluxo contínuo de trabalho diminuiu significativamente o esforço despendido para atividades do processo produtivo de automóveis.

Danlbaar (1997) (apud WIGINESCKI, 2009, p. 25-26) observa que apesar do fluxo contínuo na produção, os componentes necessários para montagem eram produzidos em grande escala gerando estoques intermediários ao longo de todo o processo produtivo além de um controle da qualidade separado da produção. Pontes (2004, p.17) reforça a ideia de que existia uma grande separação entre planejamento e concepção de produtos com a produção, fazendo com que os operários não detivessem grandes responsabilidades sobre o resultado final do processo.

## 2.4 SISTEMA TOYOTA

Segundo Koskela (1992, p. 5) as primeiras aparições da chamada nova filosofia de produção tem sua origem no Japão em meados dos anos 50, mais especificamente dentro das fábricas automobilísticas da Toyota.

Nessa época a empresa passava por dificuldades e parte da força de trabalho precisou ser dispensada. Womak *et al* (1990) (WIGINESCKI, 2009, p. 26-27) comentam que a empresa na época com 13 anos de funcionamento encontrava-se competitivamente atrás de montadoras americanas como a Ford que superavam sua produção diária expressivamente

Dessa forma começou-se um esforço por parte do alto escalão da empresa para buscar uma estratégia que pudesse reverter o cenário da empresa, tendo como destaque figuras como Eiji Toyoda (1913-2013) e Taiichi Ohno (1912-1990).

Em linhas gerais o sistema de produção Toyota busca a eliminação e identificação de desperdícios em diversas esferas do processo produtivo, Ohno (1997, p. 39) existem sete tipos de desperdícios, sendo eles:

- DESPERDÍCIO DE SUPERPRODUÇÃO

Diferentemente do pensamento Fordista de fluxo contínuo de produção, o modelo de produção da Toyota observa que uma fábrica operando na sua capacidade máxima de produção difere de uma produção eficiente, além da depreciação dos equipamentos, a superprodução gera estoques que se não estiverem alinhados com a demanda tornam-se desperdício de recursos.

Segundo (SARCINELLI, p. 19) é ideal a adaptabilidade de equipes que possam operar diferentes máquinas e etapas do processo produtivo a medida em que haja demanda.

- DESPERDÍCIO DE TEMPO DISPONÍVEL

A sincronização de processos, bem como uma boa gestão na ordenação do fluxo de processos é fundamental a um bom funcionamento da fábrica, e redução do chamado tempo de *setup* – atividades de ajuste entre etapas da produção – e contato integrado com fornecedores são medidas importantes para otimização do processo produtivo (MONDEM 1983; OHNO, 1988; SHINGO 1984; SHINGO 1988) (apud KOSKELA, 1992, p. 5).

- DESPERDÍCIO EM TRANSPORTE

O transporte é uma atividade do processo produtivo que não agrega valor ao produto final e deve ser reduzida a um mínimo necessário para a operação, (PONTES 2004, p. 21; SARCINELLI, 2008, p. 20). Sarcinelli reforça que as medidas mais significativas para reduzir a quantidade de transporte necessária dentro de um processo produtivo estão ligadas ao *layout* da unidade produtiva, ou seja o posicionamento e ordenação dos espaços físicos necessários para a operação.

- DESPERDÍCIO DO PROCESSAMENTO EM SI

A falta de procedimentos padronizados, treinamento de mão de obra insuficiente e deficiência no detalhamento de projetos estão entre as principais causas do desperdício do processo, (SARCINELLI, 2008, p. 20).

Entende-se por processamento as atividades de conversão e transformação das matérias primas, atividades estas que agregam de fato valor ao produto se executadas conforme os parâmetros aceitáveis de qualidade.

Segundo Formoso (2002, p. 3-8), a busca por melhoria na eficiência das atividades que agregam valor ao produto é um fundamento do pensamento enxuto bem como a eliminação ou redução de atividades que não agregam valor, inclusos a esta segunda categoria atividades de conversão que possam gerar retrabalho devido a deficiências de qualidade.

A padronização de procedimentos frente a normas nacionais ou internacionais, bem como a adequação dos produtos a desejados parâmetros de qualidade tem como ferramenta fundamental a metrologia e a normalização, frente aos órgãos competentes (MIKOS *et al*, 2012, p. 15-20).

- DESPERDÍCIO DE ESTOQUE DISPONÍVEL

Fatores como erros de orçamento para levantamento de insumos, estocagem inadequada, e programação inadequada com fornecedores encontram-se entre as principais causas desse tipo de desperdício. O controle minucioso e redução ao máximo dos estoques intermediários necessários a produção caracteriza o modelo Just in Time desenvolvido pela Toyota.

- DESPERDÍCIO DE MOVIMENTO

Segundo Ohno (1997) é possível separar o movimento dos trabalhadores em duas categorias: desperdício e trabalho, sendo o objetivo da gestão operacional a eliminação dos movimentos desnecessários na produção.

- DESPERDÍCIO POR PRODUÇÃO DE PRODUTOS DEFEITUOSOS

A falta de controle de qualidade durante todo o processo produtivo resulta em lotes ou produtos defeituosos, fazendo com que tempo e recursos sejam desperdiçados.

Ohno (1997) cita o chamado dispositivo *boka-yoke*, ou a prova de defeitos, desenvolvido pela Toyota, onde se estabelecem controles de qualidade ao longo de toda a etapa produtiva, barrando o processo caso encontre-se alguma irregularidade de maneira automatizada.

Shingo (1996) (apud OLIVEIRA, 2008, p. 45) esclarece que o *boka-yoke* é especificamente um método de inspeção ou gabarito que rejeita uma peça ou produto de maneira sistemática.



Ohno (1997) ainda reforça a idéia que a não interrupção de uma linha de produção defeituosa impede o aperfeiçoamento gradativo do produto.

## 2.5 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO SISTEMA TOYOTA

### 2.5.1 Just in time

O conjunto de práticas que busca a redução do desperdício através da eliminação dos estoques finais e intermediários é englobada pelo conceito de produção *Just in Time*, onde a produção passa a ser regulada pela demanda (KOSKELA, 1992 p. 6), e é considerado um dos pilares do modelo de gestão da Toyota (OHNO, 1997).

### 2.5.2 Jikoda ou automação

Primeiramente introduzida na indústria de tecidos por Toyoda Sakichi, fundador da Toyota Motors Company, a *automação*, ou automação com um toque humano consiste em uma máquina capaz de detectar condições anormais ou defeituosas em seu funcionamento (OHNO, 1997) estando ligada diretamente aos dispositivos *boka-yoke*.

### 2.5.3 Kaizen ou melhoria contínua

Diferentemente dos modelos de produção em massa oriundos do Fordismo onde o controle da qualidade e por consequência as responsabilidades encontravam-se em uma esfera separada e distante do espaço físico de produção, (WOMACK *et al*, 1990 apud WIGINESCKI, 2009, p. 27) explicam que no Sistema Toyota de Produção, os operários passaram a desempenhar funções de controle e inspeção de qualidade durante todo o processo produtivo, podendo interrompê-lo em caso de irregularidade e encorajados a buscar a raiz do problema de forma que tal situação não voltasse a ocorrer.

Essa política de qualidade, utilizando-se de métodos estatísticos voltados ao produto final passou a realizar uma análise global da qualidade de todo o processo produtivo

introduzindo assim sistemas e ferramentas de melhoria continua com envolvimento de todas as partes envolvidas no processo de produção” (IMAI, 1986 apud OLIVEIRA, 2008 p. 51).

Em linhas gerais a grande diferença é que as equipes passaram a desempenhar atividades diversas, absorvendo maiores responsabilidades e influência sobre a cadeia produtiva como um todo.

#### 2.5.4 Kanban

O *Kanban* é uma ferramenta de comunicação e controle de informações referentes a determinada peça ou lote de produto.

Segundo Ohno (1997) o *Kanban* é uma etiqueta padronizada para facilitar a rastreabilidade dos insumos referentes a linha de montagem de produtos de papel fundamental no sistema *Just in time*.

#### 2.6 CONSTRUÇÃO ENXUTA

Os conceitos de gestão originários do STP, Sistema Toyota de produção, deram origem ao que hoje chamamos de nova filosofia de produção ou produção enxuta (KOSKELA, 1992 p. 5). A aplicação e reformulação de tais práticas de gestão no mercado da Construção Civil é chamada atualmente de construção enxuta.

Diferentemente do pensamento convencional que encara a produção como um simples processo de conversão, a nova filosofia de produção encara o processo como uma conversão de materiais atuando simultaneamente com fluxos de trabalhos (KOSKELA, 1992 p. 12-17),

Segundo Wigneski (2009) uma linha bastante aceita entre estudiosos da área divide o pensamento enxuto em cinco princípios, descritos a seguir de maneira simplificada:

- 1) Especificar Valor: através do diálogo com clientes afim de conceber um produto de valor específicos e características específicas que atendam a necessidade do cliente
- 2) Identificar a Cadeia de valor: Separação das atividades realizadas no processo em atividades que agregam valor ao produto (atividades de conversão); Atividades que

não agregam valor porém são necessárias a produção; atividades que não agregam valor e que podem ser eliminadas melhorando o processo.

- 3) Fluxo: Ordenação das atividades de conversão.
- 4) Produção Puxada: Produção é regulada pela demanda evitando estoques do produto final.
- 5) Perfeição: Constante aplicação de ferramentas de melhoria contínua para otimização do processo como um todo.

Simons e Zokaei (2005 apud MELO, 2018 p. 17) reforçam que as práticas adotadas para uma construção enxuta bem-sucedida envolvem estoque *just-in-time*, fluxo contínuo de produção, capacitação da mão de obra, e divisão de responsabilidades quanto a controle de qualidade entre todas as pessoas envolvidas no processo.

Países como EUA, Austrália, Reino Unido e Brasil vem alcançando benefícios significativos através da adoção de práticas enxutas. (BALLARD e HOWWEL, 2003 apud MELO, 2018 p. 18).

Ballard e Howwel (1994, 1997) (apud OLIVEIRA, 2008 p. 19) desenvolveram uma abordagem de estruturação do processo de gestão da produção denominada de *Last Planner System*, sendo este um modelo fortemente ligado aos princípios da construção enxuta. (NIETO-MOROTE e RUZ-VILA, 2011 apud MELO, 2018 p. 25) explicam que o enfoque do modelo *Last Planner System* está no:

- Controle das Unidades de Produção.
- Controle do Fluxo de Trabalho.
- Controle da Qualidade do trabalho realizado.

Segundo Thomas *et al* (2002 apud MELO, 2018 p. 25), segundo os princípios da construção enxuta deve-se buscar a estabilização do fluxo de produção, de maneira a torna-lo previsível.

## 2.8 DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARES

Atualmente além de diversas linguagens de programação, existem diversos métodos e abordagens para o desenvolvimento de *softwares*. Leffingwell (2011) descreve detalhadamente

um histórico de como os métodos de desenvolvimento de software ocorreram desde 1970 até os dias atuais, sendo eles:

- Processos Previsíveis do tipo Cascata
- Processos Iterativos
- Processos adaptáveis ou ágeis
- Processos adaptáveis de escala empresarial (Enxutos e Ágeis)

O processo previsível do tipo cascata é o mais simples, e será adotado para o norteamento do desenvolvimento da ferramenta proposta pelo trabalho, tal método será discutido mais detalhadamente no capítulo de metodologia da pesquisa, os demais métodos são aplicáveis a grandes equipes com maior disponibilidade de recursos e não serão discutidos neste trabalho.

### 3. METODOLOGIA

O método de desenvolvimento de *software* por Processos Previsíveis do tipo Cascata explicado por Leffingwell (2011) segue a sequência de passos apresentados a seguir:

- 1 Definição dos requisitos
- 2 Design
- 3 Implementação (lógica de programação)
- 4 Verificação
- 5 Entrega (testes e *feedback* provenientes do usuário)

#### 3.1 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS

Os requisitos do *software* a ser desenvolvido levam em consideração os principais problemas elencados por pesquisadores da área da produção enxuta discutidos anteriormente no texto, bem como as funcionalidades já existentes em outros programas existentes no mercado ou de licença de utilização gratuita. Tais requisitos remetem ao objetivo geral do trabalho: O desenvolvimento de uma ferramenta computacional, com base em conceitos da construção enxuta, de interface *user-friendly*, ou seja, que proporcione um manuseio intuitivo do usuário, que permita simular e visualizar fluxos de trabalho e materiais em canteiro de obras.

#### 3.2 DESIGN E IMPLEMENTAÇÃO

Atualmente a programação para criação de softwares e aplicativos encontra-se em constante expansão. A ascensão dos mercados relacionados a concepção de aplicativos de smartphone e jogos eletrônicos também é uma realidade, muitos dos quais buscam simular a realidade com o objetivo do entretenimento.

Dentro deste mercado destacam-se os jogos do tipo RTS (*real-time-strategy*), jogos de estratégia aonde cabe ao jogador gerir recursos e pessoas dentro de um ambiente virtual, buscando alcançar melhores resultados que outros jogadores (TRUMAN, RAPP, ROTH, VON MAMMEN, 2018). Interfaces encontradas em aplicativos de jogos do gênero serão utilizadas como base para concepção do *design* da ferramenta.

Dinâmicas de inteligência virtual através da programação lógica como *pathfinding*, que consiste em encontrar o menor caminho possível dado um *layout* de obstáculos são encontradas nestes modelos simulados através de programação lógica.

Tais programas funcionam usando um motor gráfico que funciona em conjunto com uma linguagem de programação para parametrização e definição de comportamentos desempenhados por objetos modelados.

Um motor de destaque muito usado no desenvolvimento de aplicativos, jogos e programas é o Unity, que utiliza a linguagem de programação C# e pode produzir programas com interações para dispositivos móveis, como celulares e tablets, *web browsers* (navegadores da internet) e computadores pessoais (Unity User Manual, 2018). O desenvolvimento do software foi feito através do motor Unity que utiliza a linguagem C# para a programação lógica. A edição e criação dos *scripts* (textos em linguagem de programação contendo instruções para o funcionamento dos elementos do programa) foi feita através do programa Microsoft Visual Studio.

As modelagens de objetos necessárias à concepção do programa foram feitas através dos programas:

- Unity;
- Autodesk Maya;
- Revit;
- Blender.

Os principais elementos adaptados de jogos RTS para a aplicação dos conceitos da construção enxuta são mecanismos de *pathfinding* (para o controle do fluxo de pessoas e materiais), visualização dinâmica do modelo do canteiro de obras para gestão e definição de *layouts* de estoques e estações de trabalho, visualização dinâmica de atividades de transporte de recurso e atribuição de múltiplas atividades simultâneas a unidades que representam os operários do canteiro.

A Figura 1 mostra a tela do software em simulação teste, em cinza claro temos parte de um modelo estrutural importado do Revit, em escala que carrega informações sobre as vigas e pilares como dimensões e a identificação dos elementos, o programa desenvolvido identifica os elementos colunas como obstáculos e mantém as vigas de baldrame como uma superfície andável. Em laranja observa-se a representação do recurso pallet de blocos cerâmicos furados,

que assim como as colunas atua como um obstáculo e carrega informações sobre quantidade de material disponível em cada unidade. Em roxo observa-se a representação de uma mesa de trabalho, em amarelo, um operário que carrega informações e métodos que permitem comportamentos como encontrar o menor caminho dado um *layout* de obstáculos, e realizar trabalhos de transporte de materiais entre estoques e mesas de trabalho.

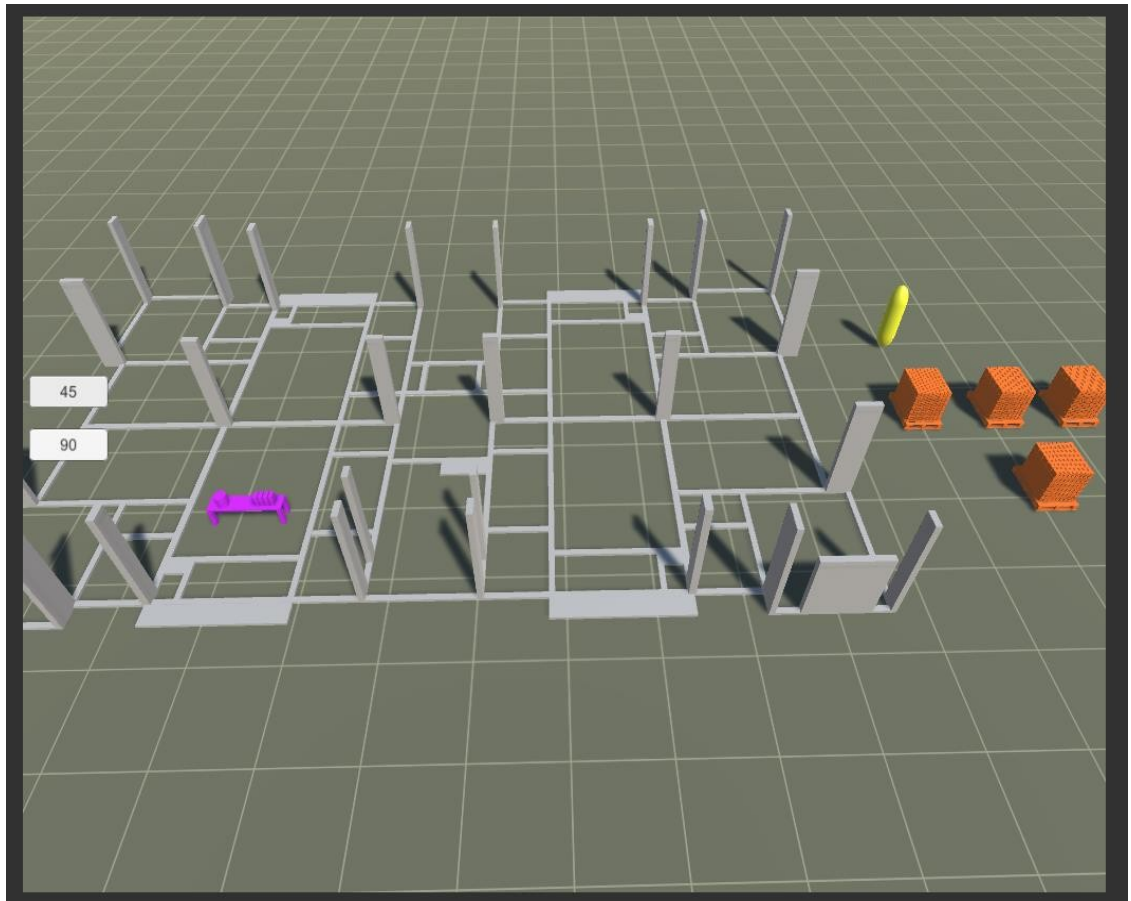


Figura 1: Tela do programa, 2019. Fonte: Autor

Os principais códigos do programa parametrizam informações referentes a visualização 3D dinâmica do canteiro, informações carregadas pelos objetos modelados como quantidade de material, se são um obstáculo ou não e comportamentos e parâmetros ligados ao operário, como velocidade, máximo degrau vencido, quantidade de recursos carregados por viagem, velocidade em que o recurso é carregado e os pontos de entrega dos insumos.

As funcionalidades do programa foram desenvolvidas na seguinte sequência:

- Parametrização dos códigos referentes a câmera panorâmica;
- Rotação da câmera e *zoom*;
- Modelagem do objeto palete de tijolo;

- Importação de um modelo Revit em escala e tratamento de suas informações pelo programa;
- Modelagem e códigos referentes ao movimento do operário;
- Códigos referentes as tarefas de coleta de recursos;
- Modelagem e código do ponto de entrega de recursos mesa de trabalho;
- Códigos referentes a entrega de recursos até a mesa de trabalho.

### 3.3 VERIFICAÇÃO

A verificação do programa foi feita em conjunto ao desenvolvimento de maneira constante afim de calibrar o modelo ao mais próximo da realidade o possível com um grau de abstração adequado, lembrando que existem diversas funcionalidades que ainda podem ser implementadas e testadas dentro do modelo.



## 4. RESULTADOS OBTIDOS

### 4.1 CÂMERA PANORÂMICA

O software permite ao usuário a visualização em 3D do canteiro de obras com uma câmera panorâmica, que rotaciona em torno dos eixos do plano do solo (eixos x e y) e com funcionalidade de *zoom* no eixo z, funcionando de maneira similar a programas existentes de modelagem, conforme ilustrado na Figura 2.

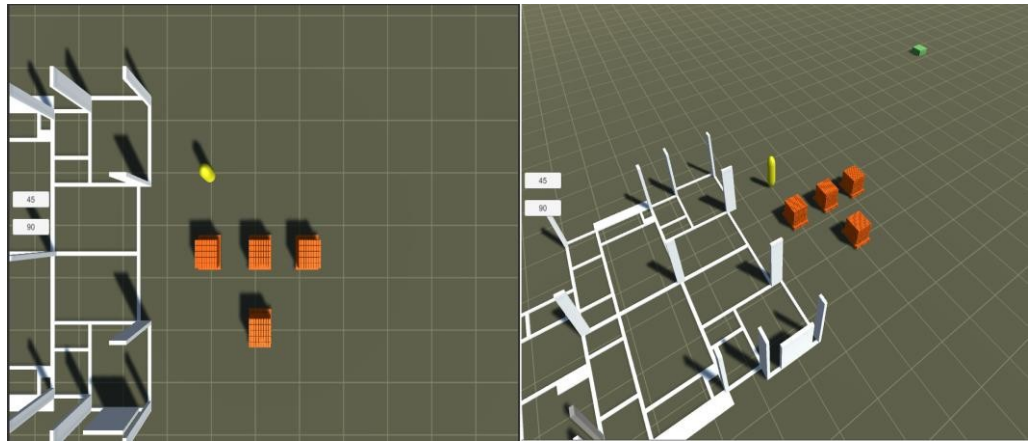


Figura 2: Câmera, 2019. Fonte: Autor

### 4.2 GERENCIADOR DE RECURSO

A Figura 3 mostra o recurso palete de tijolo, tal objeto carrega além de informações do modelo 3D em si, informações que podem ser alteradas pelo usuário sendo estas:

- Tempo de coleta;
- Recursos disponíveis.

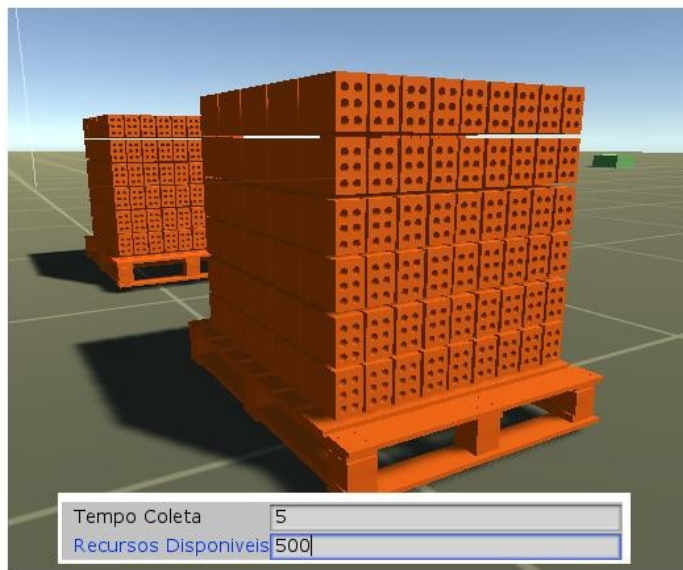


Figura 3: Recursos, 2019. Fonte: Autor

#### 4.3 IMPORTAÇÃO DE UM MODELO REVIT

O programa permite a utilização de modelos REVIT e outros programas de modelagem como objetos do simulador do canteiro em escala e carrega informações nativas ao programa REVIT, o programa parametriza os objetos colunas como obstáculos em relação a movimentação dos operários no canteiro conforme ilustrado na Figura xx

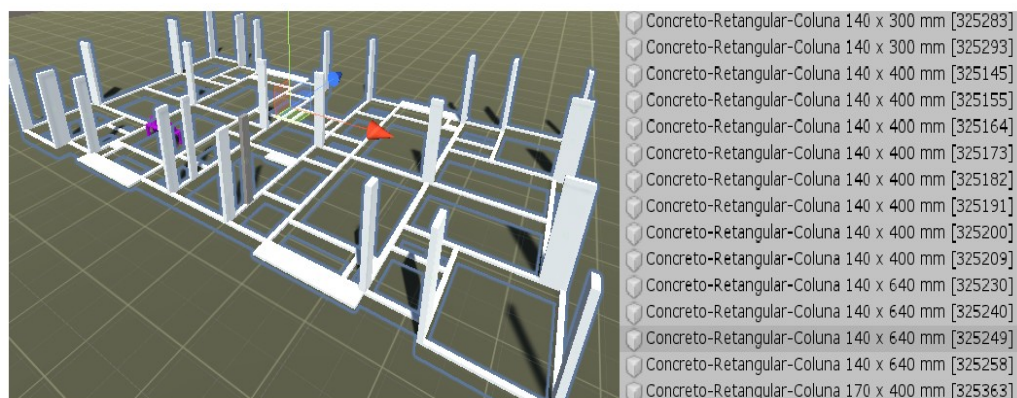


Figura 4: Estrutural BIM, 2019. Fonte: Autor

#### 4.4 NAVEGAÇÃO E OBSTÁCULOS

O objeto operário é representado através de uma cápsula amarela de altura 1,70m em escala e carrega códigos que permitem a movimentação no canteiro de materiais entre os objetos de recurso e o objeto mesa de trabalho. Sua velocidade de movimentação bem como a quantidade de recursos que pode ser transportada por viagem pode ser parametrizada pelo usuário, conforme ilustrado na Figura 4. A Figura 5 mostra em azul a superfície em que é possível o movimento do operário e ilustra os obstáculos do canteiro.

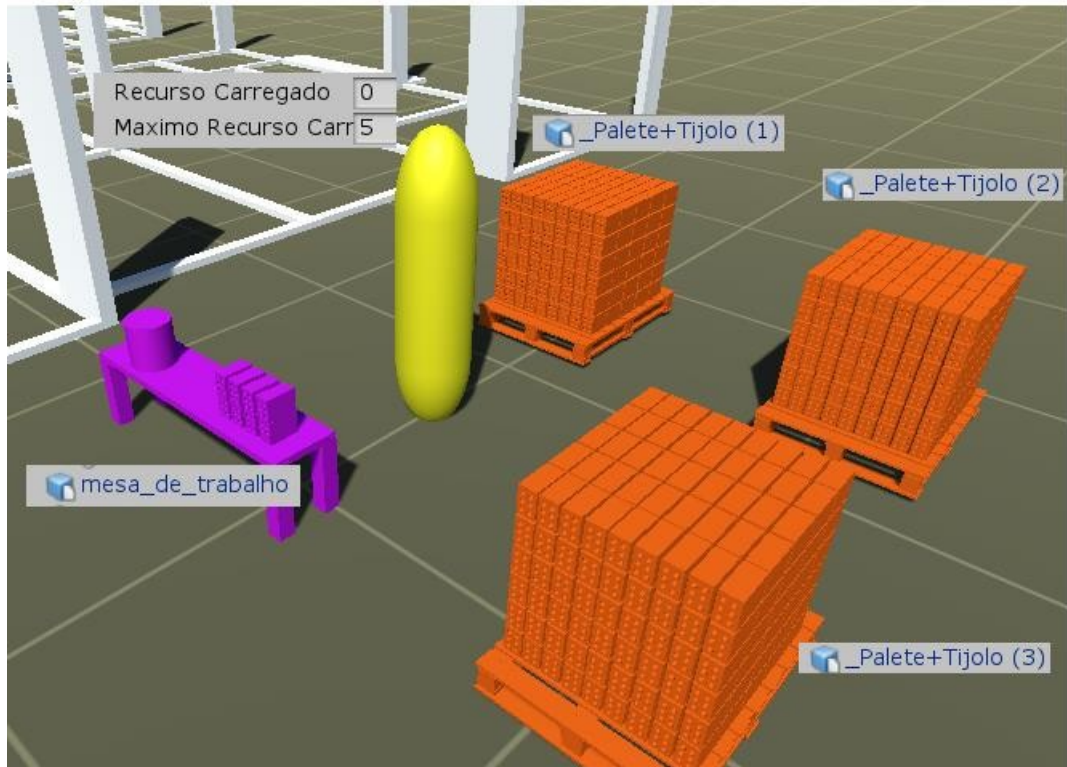


Figura 5: Operário e recursos, 2019. Fonte: Autor

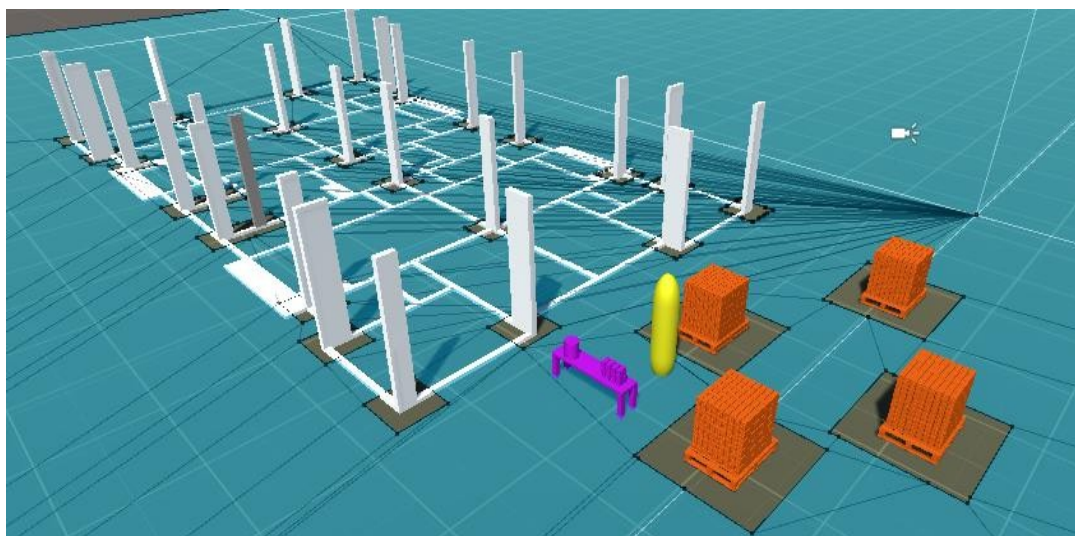


Figura 6: Navegação e obstáculos, 2019. Fonte: Autor

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ferramenta computacional desenvolvida permite a simulação de atividades de transporte de materiais permitindo uma visualização dinâmica do fluxo de trabalho e materiais, e pode ser calibrada com base em situações reais e dados da literatura para melhoria das simulações, mostrando-se possível sua utilização como ferramenta auxiliar para implementação de conceitos da construção enxuta.

A ferramenta computacional desenvolvida apresenta uma interação com a ferramenta BIM Revit, além de outros programas de modelagem, permitindo a importação de modelos em escala e que carregam informações referentes aos elementos de projeto importado mostrando possível sua aplicação em conjunto com ferramentas existentes, além disso o design da ferramenta é focado na representação 3D de elementos do canteiro de obras e tais objetos carregam informações relevantes a etapas de construção, mostrando possível a utilização do programa como ferramenta BIM.

A ferramenta pode apresentar valor futuro nas áreas da educação e produção seja na formação de profissionais e estudantes ou como ferramenta de gestão em situações reais.

É possível desenvolver programas similares utilizando os programas citados para o desenvolvimento da ferramenta do trabalho em questão, além da implementação de mais funcionalidades no programa existente.

É possível também alimentar o programa com dados colhidos diretamente do canteiro de obra utilizando tecnologias de IOT (internet das coisas) que consiste no funcionamento em conjunto de sensores, controladoras ligadas a uma rede de conectividade e um servidor para tratamento dos dados e envio ao programa do usuário final.

A interação com outras ferramentas BIM também pode ser aprimorada para que seu manuseio seja cada vez mais intuitivo por parte do usuário final

A calibragem dos tempos e movimentos necessários a cada atividade de transporte pode ser calibrada com base em apontamentos realizados em situações reais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARENDDT, Hannah. **A condição humana**. Tradução de Roberto Raposo – 10 ed. – Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2007.

DETERDING, S; SICART, M; NACKE, L; O'HARA, K; DIXON, D.: **Gamification. Using game-design elements in non-gaming contexts**. In: **Proceedings of the 2011 Annual Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems**. pp. 2425–2428. ACM, New York, 2011

FLEURY, Afonso; FLEURY, Maria Tereza. **The evolution of production systems and conceptual frameworks**. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 18 Iss 8, p. 949-965, 2007.

FORMOSO, Carlos T. **Lean construction: princípios básicos e exemplos**. In: **Construção Mercado: custos suprimentos planejamento e controle de obras**. Porto Alegre, v. 15, 2002.

KORN, Oliver; MUSCHICK, Peter; SCHMIDT, Albrecht. **Gamification of Production? A Study on the Acceptance of Gamified Work Processes in the Automotive Industry**. In: **Conference: AHFE '16: 7th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics**. Orlando, FL, USA. Volume: **Advances in Affective and Pleasurable Design**. Orlando, USA, 2016.

KOSKELA, Lauri. **Application of the new production to the construction industry**. Stanford, USA, Stanford University, 1992. Technical Report 72.

LEFFINGWELL, Dean. **Agile Software Requirements: lean requirements practices for teams, programs, and the enterprise**. Boston: Pearson Education, 2011.

MELO, Maury Nelson Antunes de. **Implementação de um framework baseado no last planner e no gerenciamento de projetos tradicional para o planejamento, execução e o controle de obras na construção civil**. 2018. 126 f. Dissertação de Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2018.

MIKOS, Walter Luís; UGAYA, Cássia Maria Lie; ROMANO, Cezar Augusto; SILVA, Clider de Souza; PONTES, Herus; LIMA, Isaura Alberton de. **Qualidade: base para Inovação**. Curitiba: Aymarã Educação, 2012.

OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção: Além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, Clênio Senra de. **Metodologia para utilização de simulação em projetos de manufatura enxuta**. 2008. 174 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

S. A., Abbasian Hosseini; A., Nikakhtar; P, Ghoddousi. **Flow Production of Construction Processes through Implementing Lean Construction Principles and Simulation**. IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 4, Nº 4, Agosto, 2012.

SKINNER, Burrhus Frederic. **Contingências do reforço: uma análise teórica**. Tradução de Rachel Moreno. São Paulo: Abril Cultural, 1980.

PINTO, Geraldo Augusto. **A organização do trabalho no século 20: taylorismo, fordismo e toyotismo** – 1 ed. – São Paulo: Expressão Popular, 2007.

PONTES, Luciana Antunes Correia. **Análise do impacto do planejamento de curto prazo nos princípios da construção enxuta: um estudo de caso**. 2004. 124 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004

SAMPAIO, Zita. **The Introduction of the BIM Concept in Civil Engineering Curriculum**. In: **International Journal of Engineering Education**. Lisbon, Portugal, Technical University of Lisbon, 2014.

SARCINELLI, Wanessa Tatiany. **Construção enxuta através da padronização de tarefas e projetos**. 2008. 80 f. Monografia de Especialização – Universidade Federal de Minas Gerais, Vitória, 2008.

SELEÇÃO ENGENHARIA. **36 softwares para engenheiros indispensáveis para sua carreira, Portal Seleção Engenharia**, Belo Horizonte, nov. 2017. Disponível em: <<https://selecaoengenharia.com.br/blog/36-softwares-para-engenheiros-indispensaveis-para-sua-carreira/>>. Acesso em: 13 out. 2018.

TRUMAN, Samuel; RAPP, Nicholas; ROTH, Daniel; MAMMEN, Sebastian Von. **Rethinking Real-time strategy games for virtual reality**. In: **Conference: the 13th international conference**. Würzburg, Germany, University of Würzburg, 2018.

UNITY TECHNOLOGIES. **Unity User Manual (2018.2)**, nov 2018. Disponível em: <<https://docs.unity3d.com/Manual/ManualVersions.html>>. Acesso em: 8 nov. 2018.

WIGINESCKI, Beatriz Becker. **Aplicação dos princípios da construção enxuta em obras pequenas e de curto prazo: um estudo de caso.** 2009. 155 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.