

# A INTERNET DAS COISAS E A CONTRUÇÃO CIVIL: OPORTUNIDADES, DESAFIOS E APRENDIZADOS

**Mendes, Rafael Barbosa (1); Ribeiro, Gleice Maria de Araújo (2)**

(1) Estudante da Especialização em Tecnologia e Gerenciamento de Obras no SENAI CIMATEC, e-mail: rafaelbmendes@hotmail.com (2) Professora assistente no Senai CIMATEC, e-mail: gmariar@fieb.org.br

## RESUMO

Tradicionalmente, o controle de produção em canteiros de obras apresenta-se como desafio. Os métodos de controle da produção utilizados geralmente são informais, o que dificulta o bom fluxo de produção. Estes sistemas têm ciclos de planejamento relativamente longos para responder às exigências de produção dinâmica da construção. Neste trabalho, buscou-se investigar como a estrutura de comunicação destes sistemas tradicionais e muitas vezes informais de gerenciamento da construção podem evoluir, visando automatizar total ou parcialmente as funções de comunicação durante todo o ciclo de vida do projeto de construção. Com este propósito, o presente artigo forneceu evidências de como a internet das coisas, indústria 4.0 e tecnologias aderentes a estas abordagens relacionados podem colaborar para tal progresso. Como resultado foi proposta uma estrutura de comunicação automatizada, baseada em dispositivos interconectados, de baixo consumo de energia e médio alcance como suporte principal a comunicação em canteiros de obras.

**Palavras-chave:** Internet das coisas, Indústria 4.0, Engenharia do conhecimento, Construção enxuta.

## ABSTRACT

*Traditionally, the control of production in construction sites presents itself as a challenge. The production control methods used are usually informal, which hampers the good flow of production. These systems have relatively long design cycles to meet the dynamic production requirements of the building. In this work, we sought to investigate how the communication structure of these traditional and often informal systems of construction management can evolve, aiming to totally or partially automate communication functions throughout the construction project life cycle. For this purpose, the present article provided evidence of how the Internet of Things, Industry 4.0 and technologies adhering to these related approaches can contribute to such progress. As a result, an automated communication structure based on interconnected, low power and medium-range devices was proposed as the main support for communication in construction sites.*

**Keywords:** *Internet of things, industry 4.0, Knowledge engineering, Lean construction.*

## 1 INTRODUÇÃO

A internet das coisas, também conhecida como Internet of Things (IoT), é um conceito em processo de consolidação, consiste na ideia da fusão entre os mundos real e digital entre dispositivos inteligentes. Os desafios para a sua consolidação passam pela interconectividade entre objetos que não estão na internet e pela interoperabilidade.

Segundo Atzori, Ieira e Morabito (2010) para que um dispositivo seja classificado como sendo da internet das coisas, este deve ser identificável, comunicar-se de maneira descentralizada e interagir entre si, através de redes interconectadas de objetos, com usuários finais ou outras entidades na rede.

No entanto há um longo caminho até que a real difusão desta abordagem tecnológica se estabeleça e mude radicalmente a maneira como a interação ocorre entre objetos, provendo serviços e produtos mais eficientes.

O motivo desta aguardada mudança é o aumento sistemático da capacidade produtiva e do conhecimento gerado e difundido em produtos e serviços. Neste contexto, a tecnologia e a inovação seguem impulsionando o desenvolvimento de ferramentas para indústria, se apropriando gradativamente do conceito de internet das coisas.

Novas teorias, tecnologias e práticas devem ser incorporadas gradualmente, aumentando a eficiência de sistemas produtivos e propondo novas fronteiras e paradigmas, entendidas aqui como os limites do conhecimento ou do estado da arte nos segmentos produtivos, como a indústria 4.0 (LASI *et al.*, 2014).

Kolberg e Zühlke (2015) destacam o novo paradigma chamado de indústria 4.0 como uma abordagem de rede onde máquinas e componentes se tornam inteligentes e partes de um sistema autônomo, fazendo uso também de conceitos já difundidos amplamente na indústria. A indústria da construção civil pode se beneficiar deste aporte de informação, fazendo uso das tecnologias disponíveis, tornando processos mais ágeis e mais confiáveis.

Segundo Frej e Alencar (2010) a construção civil ocupa posição de destaque na economia brasileira, contribuindo com uma parcela significativa dos empregos diretos, mas ainda detém índices de produtividade baixos comparada com outras indústrias, como por exemplo a indústria fabril. É notório que esta indústria ainda apresente ferramentas de gestão e práticas de transformação em um patamar evolutivo considerado baixo em relação à indústria fabril, em que a variabilidade é mínima e o controle das atividades e de informação caminha para o tempo real.

Seja por falta de capacitação adequada de seus gestores, quer seja por não acreditar na necessidade real de incremento em eficiência e curto ou médio prazo ou mesmo fatores outros não citados, boa parte das construtoras ainda não adotam conceitos já consolidados na indústria fabril, em função disso admite-se maior variação na produção e na qualidade do produto acabado.

De acordo com Dave *et al.* (2016) poucos são os sistemas formais dedicados ao controle da gestão da produção na construção civil, onde geralmente se observa a dependência de troca de informações verbais entre as equipes no local e os gestores da produção.

Este trabalho objetiva abordar de forma direta técnicas e tecnologias que podem vir a nortear os novos paradigmas e fronteiras de conhecimento frente a internet das coisas e indústria 4.0 no que tange a construção civil, apresentando oportunidades que estes novos paradigmas oferecem.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Visando embasamento para a abordagem deste trabalho, algumas categorias teóricas serão abordadas a seguir, entendendo-se categorias teóricas como conhecimento previamente estabelecido e necessário ao entendimento da abordagem proposta na interface decorrente entre a construção civil e a internet das coisas.

Entre as categorias abordadas estão:

- a. Construção enxuta e suas ferramentas de controle como ponto inicial, sua importância se faz clara por romper com o paradigma vigente e impulsionar a construção civil a um novo patamar, reduzindo a variabilidade e aumentando a eficiência dos processos construtivos;
- b. Computação ubíqua como ponto de partida da abordagem da tecnologia da informação e comunicação (TIC), reverberando até hoje nos sistemas e subsistemas computacionais construídos;
- c. Building Information Modeling por contribuir para a redução de tempo de desenvolvimento de projetos e no aumento da confiabilidade e consistência das informações sobre os mesmos;
- d. Internet das coisas como conceito tecnológico chave e ainda em desenvolvimento elencando a indústria 4.0 na condição de novo paradigma da manufatura atual; e
- e. Engenharia do conhecimento abordada enquanto instrumento evolutivo das soluções baseadas em software, uma vez que quando empregada da maneira correta torna as soluções mais eficazes e organiza o conhecimento de maneira a torna-lo acessível e consolidado em um contexto mais amplo.

### 2.1 Estudos exploratórios: Identificação de oportunidades e definição de diretrizes

#### 2.1.1 Lean Construction

O termo *lean construction* ou construção enxuta foi cunhado por Lauri Koskela, sendo conhecido como um referencial teórico instituído para a gestão de processos na construção civil (KOSKELA, 1992).

Para a construção enxuta tudo o que não agrega valor é considerado perda, mesmo que não gere resíduo ou retrabalho não limitado ao consumo excessivo de recursos. São relacionadas como perdas: consumo exagerado de materiais, mão de obra, equipamentos e estoques acima do necessário para assegurar a continuidade do trabalho.

A construção enxuta é uma filosofia de trabalho adaptada dos conceitos e princípios subjacentes do Sistema Toyota de Produção (STP) à construção civil. No STP, o foco está na redução do desperdício, no aumento do valor do produto, na percepção do cliente e na melhoria contínua dos processos de transformação (i.e., eficiência produtiva).

Ao se apropriar dos conceitos do STP, a construção enxuta foca na otimização dos processos e na obtenção do resultado esperado com o mínimo de esforço, com o mínimo de falhas e melhoria contínua, balanceando a produção e otimizando o uso dos recursos através de ferramentas de controle como o Andon (gestão a vista) e Kanban (cartões de programação). Ao incorporar a filosofia STP o objetivo central da construção enxuta é

prover um ritmo equilibrado de produção, com o mínimo de esforço de trabalho e insumos empregados na produção.

O *Last Planner Sistem* (LPS) é um sistema colaborativo de planejamento e programação desenvolvido por Ballard (2000). O sistema é baseado no STP e na construção enxuta, foi desenvolvido para a aplicação prática na construção civil, fornecendo um planejamento detalhado de produção e um fluxo de trabalho que aborda aspectos de variabilidade e fluxo na gestão da construção e envolve os fatores operacionais no campo e no processo de planejamento com métricas e métodos próprios.

Mais a frente, o LPS deu suporte a criação de sistemas baseados em sua abordagem, a partir da evolução computacional sistemas de gerenciamento *Lean* foram criados, sendo denominados *Lean Construction Management System* (LCMS), referindo-se a qualquer gerenciamento de construção baseado em software que atenda aos fluxos de trabalho e de gerenciamento de construção enxuta, e particularmente LPS.

### 2.1.2 Andon

Utilizado amplamente na indústria manufatureira, o Andon é uma ferramenta de gestão do Lean Manufacturing de controle visual, que possibilita acompanhar o andamento dos processos transformação, informando sobre possíveis problemas e alertando sobre a necessidade de intervenção.

Os processos de transformação são o cerne central da indústria, que provê os insumos e a força de trabalho denominados inputs, o processo de transformação, entendido aqui como o emprego da força de trabalho para a transformação dos insumos, e por fim os outputs, entendidos como a junção destes fatores para que se agregue valor ao produto.

Diversos processos de transformação são empregados sucessivamente para alcançar um produto acabado. Por exemplo, uma parede em alvenaria executada tem valor agregado maior do que seus insumos e força de trabalho em separado. A figura 1 ilustra os Andons empregados na indústria fabril, estes dispositivos atuam como sensores da produção e auxiliam no entendimento dos processos, possibilitando intervenções para garantir seu desenvolvimento de forma harmoniosa.

**Figura 1 – Andons na indústria fabril.**



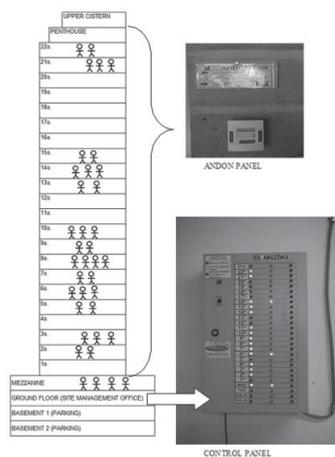
Fonte: Andon - Citisystems, 2016

Na construção civil o uso do Andon é limitado, seja pela disposição do layout das obras que estão em constante mudança, pela necessidade de fios e cabos para a comunicação e alimentação, o que dificulta seu reposicionamento, intempéries como chuvas, emprego em ambientes agressivos a componentes eletrônicos e etc.

O painel do Andon na construção civil geralmente fica instalado na sala da engenharia, em função dos fatores citados no parágrafo anterior, sofrendo menor interferência sob estes fatores, possibilitando o acompanhamento visual das atividades pelos gestores da produção. Embora seja uma aplicação válida, informações adicionais quando uma falha ou interrupção é reportada via Andon são inviáveis nesta configuração.

Ao identificar uma interrupção relevante nos processos de transformação o responsável pela produção é alertado pelo Andon e deve se deslocar para o local da intercorrência para devolver a operação ao status normal, isto é, sem falhas ou interrupções que representam atraso e desperdício neste contexto, recolocando a produção ao ritmo desejado. A figura 2 ilustra o sistema Andon comumente utilizado na construção civil.

**Figura 2 – Andons na construção civil.**



Fonte: KEMMER *et al.*, 2006

### 2.1.3 Kanban

O sistema de produção puxada utilizada pela manufatura enxuta é regulado por uma ferramenta de controle de estoque, movimentação e produção chamada Kanban, que na sua forma básica funciona por meio de um controle visual baseado em cartões, representando uma ordem padrão (de montagem, fabricação, movimentação ou compra).

A produção puxada caracteriza-se por possibilitar a auto regulação das tarefas em campo, o que em outras palavras significa dizer que o controle da operação tende a passar a mão de seus executores, parametrizando as entregas em função da necessidade de suprir a demanda dos pacotes de serviço posteriores aos seus, obedecendo o planejamento semanal de serviços.

Um exemplo claro seria o serviço de assentamento cerâmico, o serviço à jusante (i.e., subsequente) é o rejunte das juntas de dilatação da cerâmica. Com o uso do Kanban a equipe de assentamento cerâmico encarrega-se de suprir a demanda de frente de serviço para a equipe de rejuntamento.

Pautar a produção nestes termos possibilita a diminuição de estoques e um controle mais efetivo das atividades, tornando o processo mais confiável de forma global. A mesma técnica é aplicada em diversas indústrias, tendo origem na indústria automobilística a partir da Toyota e do STP.

No contexto do STP e da construção enxuta os operários são divididos em times ou equipes de trabalho e só iniciam um novo pacote de serviço ou etapa quando estão de posse dos Kanbans correspondentes que equivale a uma ordem ou autorização de serviço. As informações contidas nos Kanbans são precisas e suficientes para a execução dos pacotes de serviço.

**Figura 3 – Kanban de assentamento cerâmico.**



**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2013

Na construção civil, os Kanbans geralmente não são associados a outras tecnologias que aperfeiçoem o fluxo de informação de sua movimentação em campo. Isto por sua vez demanda tempo para organização dos dados obtidos em suas solicitações e entregas.

Ao conhecer com precisão o esforço necessário a alguma atividade de transformação e seus insumos cria-se a oportunidade para mensurar a eficiência do sistema produtivo empregado, por exemplo, havendo sobra ou falta de material para uma tarefa específica as causas podem ser investigadas para que isso não se repita, representando economia neste contexto.

### **2.1.4 Building Information Modeling (BIM)**

O conceito BIM foi criado por Jerry Laiserin, um arquiteto da Universidade de Princeton (EUA), é uma modelagem baseada em objetos paramétricos mutáveis, criando um ambiente de modelagem com alta confiabilidade e interoperabilidade (ADDOR *et al.*, 2010).

A abordagem da tecnologia BIM proporciona oportunamente a prototipagem do espaço a ser construído, tornando possível através da parametrização ensaios a cerca do funcionamento dos subsistemas empregados na construção, avaliando o cumprimento de seus requisitos de projeto e suas interfaces com os demais subsistemas.

A modelagem BIM contribui para a evolução da construção civil ao passo que torna o processo muito mais confiável, permitindo ensaios e modificações ágeis, sem perda de consistência no modelo desenvolvido, o sistema informa e antecipa interferências na estrutura, arquitetura e instalações.

Toda informação e documentação podem ser compartilhadas entre os envolvidos de maneira segura e clara em todas as fases do projeto e seu ciclo de vida, com confiabilidade e integridade.

A importância deste conceito está no cunho prático e objetivo. Informações precisas e confiáveis contribuem para o controle e gerenciamento das etapas de construção e do ciclo de vida dos projetos, podendo ser aplicada em conjunto com outras tecnologias.

### **2.1.5 Internet das coisas e indústria 4.0**

A internet das coisas (IoT – Internet of Things) é uma infraestrutura dinâmica de rede global capaz de auto-gestão e configuração, baseada em protocolos de comunicação padronizados (e.g. redes MQTT/Mesh) e interoperáveis, entendendo-se “coisas” como entidades físicas ou virtuais, detentoras de identidades, atributos físicos e personalidades virtuais.

O conceito de internet das coisas se relaciona com a pesquisa proposta à medida que serve de base para outro conceito, a indústria 4.0, que por sua vez dialoga com as categorias teóricas citadas até então, tornando-o indissociável em uma análise mais ampla e contribuindo para o objetivo deste trabalho.

Diferente de outros enfoques, a internet das coisas utiliza interfaces inteligentes, geralmente descentralizada, conectadas entre si e integradas a Internet para realizar tarefas complexas.

Os dispositivos empregados na internet das coisas são geralmente dotados de menor memória, capacidade de processamento e energia, realizando tarefas de forma colaborativa (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010).

Neste contexto, sensores e computadores de placa única podem monitorar indicadores e atividades ou mesmo desencadear ações corretivas (e.g., comportando-se como atuadores ) de modo automático, gerando informação em tempo real para que os gestores intervenham de maneira mais ágil na produção, corrigindo variações indesejadas no ritmo de trabalho planejado.

Uma característica importante da internet das coisas é o seu caráter ubíquo, tornando seu uso e adoção mais intenso e oportuno, ao passo que se faz o uso de tais dispositivos de maneira simplificada.

Segundo Weiser (1991), criador do conceito de Computação Ubíqua, a tecnologia deve ser integrada a vida de modo que ela simplesmente deixe de ser percebida, defendendo o oposto da Realidade Virtual, em que as pessoas são colocadas dentro do mundo gerado pelo computador.

Essa abordagem é considerada precursora do conceito de internet das coisas e da revolução tecnológica vivenciada atualmente. Quando um equipamento é considerado demasiado complicado e demanda a utilização de manuais e descritivos de funcionamento acabam por dificultar ou inviabilizar seu uso em larga escala.

Esta dificuldade torna-se latente principalmente quando considerado o panorama mundial e a difusão do conhecimento tecnológico mundialmente em culturas e povos distintos.

Na Computação Ubíqua, é o computador ou entidades similares que se integram a vida das pessoas de modo que elas não o percebam, tornando-se parte de sua rotina e contribuindo para o avanço da sociedade.

A indústria 4.0 é a combinação de tecnologias da internet das coisas e demais abordagens tecnológicas já citadas orientadas para o futuro, aplicando-as a indústria. No campo dos

objetos inteligentes (máquinas e produtos) o que se espera é uma mudança de paradigma na produção.

As visões do futuro da produção contemplam módulos e sistemas eficientes e caracterizam os cenários nos quais os produtos controlem por si mesmos o processo de fabricação, acompanhando o ciclo de vida e o uso de recursos-chaves nestes sistemas (LASI *et al.*, 2014).

Neste contexto a produção se aproximaria de um patamar mais elevado de qualidade e de confiabilidade de seus produtos e processos produtivos, possibilitando um entendimento mais profundo das necessidades dos clientes e seus anseios.

Os princípios da indústria 4.0 são: Interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação a serviço e modularidade. Tais princípios são considerados a vanguarda da produção industrial e fazem-se necessários pelo ganho em agilidade e escala para suprir e ou fomentar o consumo mundialmente, conferindo a indústria de transformação uma ferramenta para enfrentar os desafios futuros.

### **2.1.6 Engenharia do Conhecimento**

A engenharia do conhecimento (EGC) ou *Knowledge Based Engineering* (KBS), categoria teórica que se dedica à pesquisa, concepção, desenvolvimento e aplicação de sistemas de gestão do conhecimento (SGCs) para apoio ao ciclo de atividades e macroprocessos intensivos em conhecimento (entendido como fator gerador de valor nas organizações).

Ao entender como o conhecimento é gerado, processado e difundido, sistemas computacionais podem fazer uso do conhecimento preestabelecido em suas bases de dados históricos e melhorar seu desempenho com o passar do tempo, ou seja, aprender.

Diversos *frameworks* foram desenvolvidos para aplicação da EGC, entendendo que o conhecimento tácito é de domínio do indivíduo e não das empresas, sua expressão através de documentos é limitada e especialistas em quaisquer áreas tendem a ter visões diferentes dos mesmos fenômenos.

O conhecimento é um componente vital do projeto de engenharia. Reduções significativas nos custos e no tempo de desenvolvimento podem ser atingidas se o conhecimento for capturado por especialistas e armazenado em uma base de conhecimento (DARAI; SINGH; DISWAS, 2010).

Outras vertentes da engenharia, como a aeronáutica, fazem uso deste importante recurso, otimizando o tempo de desenvolvimento e prototipagem por meio de sistemas KBS. Embora os projetos de aviões sejam diferentes entre si, eles incorporam conceitos e soluções similares muitas vezes, o que poupa tempo e dinheiro em projetos mais complexos.

A construção civil ainda não lança mão deste artifício, o que é possível e viável, haja vista que a indústria aeronáutica é orientada a projeto e de produto diversas vezes único, com características compartilhadas pela construção civil, uma clara oportunidade de melhoria de processos desde a concepção até a construção de fato.

## **3 MÉTODO DE PESQUISA**

A estratégia aplicada no presente artigo é o Design Science Research (DRESCH, 2013; HEVNER, 2007), também referenciada como Pesquisa Construtiva. Trata-se de um enfoque sócio técnico voltado para solucionar os problemas encontrados no mundo real.

Os principais elementos apresentados para esta abordagem são: funcionalidade prática da proposta, importância prática do problema abordado e solução proposta, vinculação com teorias precedentes e enfim, a contribuição teórica para a área de estudo.

Com o objetivo de delinear a contribuição do estudo, a saída proposta é um modelo, embasado em estudos anteriores (DAVE *et al.*, 2016; KOLBERG; ZÜHLKE, 2015), porém com abordagem técnica diferenciada e incremental, adicionando outras funcionalidades ainda não incorporadas à ferramenta modelada, figura 04.

A pesquisa está centrada em empresas que já tenham a filosofia *Lean* aplicada e utilizam ou pretendem utilizar o Lean Construction Management System (LCMS) (e.g. Visilean) como suporte no gerenciamento.

O artefato a ser produzido é uma modelagem de um sistema computacional baseado na engenharia do conhecimento (*Knowledge Based Engineering – KBS*) e internet das coisas. Este permitirá a integração de informação do status de produção em tempo real, ou o mais próximo possível, através de Andon (ferramenta de controle da produção enxuta), aos setores de projeto e produção das empresas construtoras durante a execução do empreendimento com uso de Physical Web (i.e., computação ubíqua).

O Andon foi escolhido em função da viabilidade reduzida quando utilizado em sua forma natural. A ferramenta Kanban pode ser utilizada com menor esforço em termos tecnológicos, o mesmo não ocorre com o Andon, sendo este o ponto que torna mais relevante o seu estudo em termos práticos.

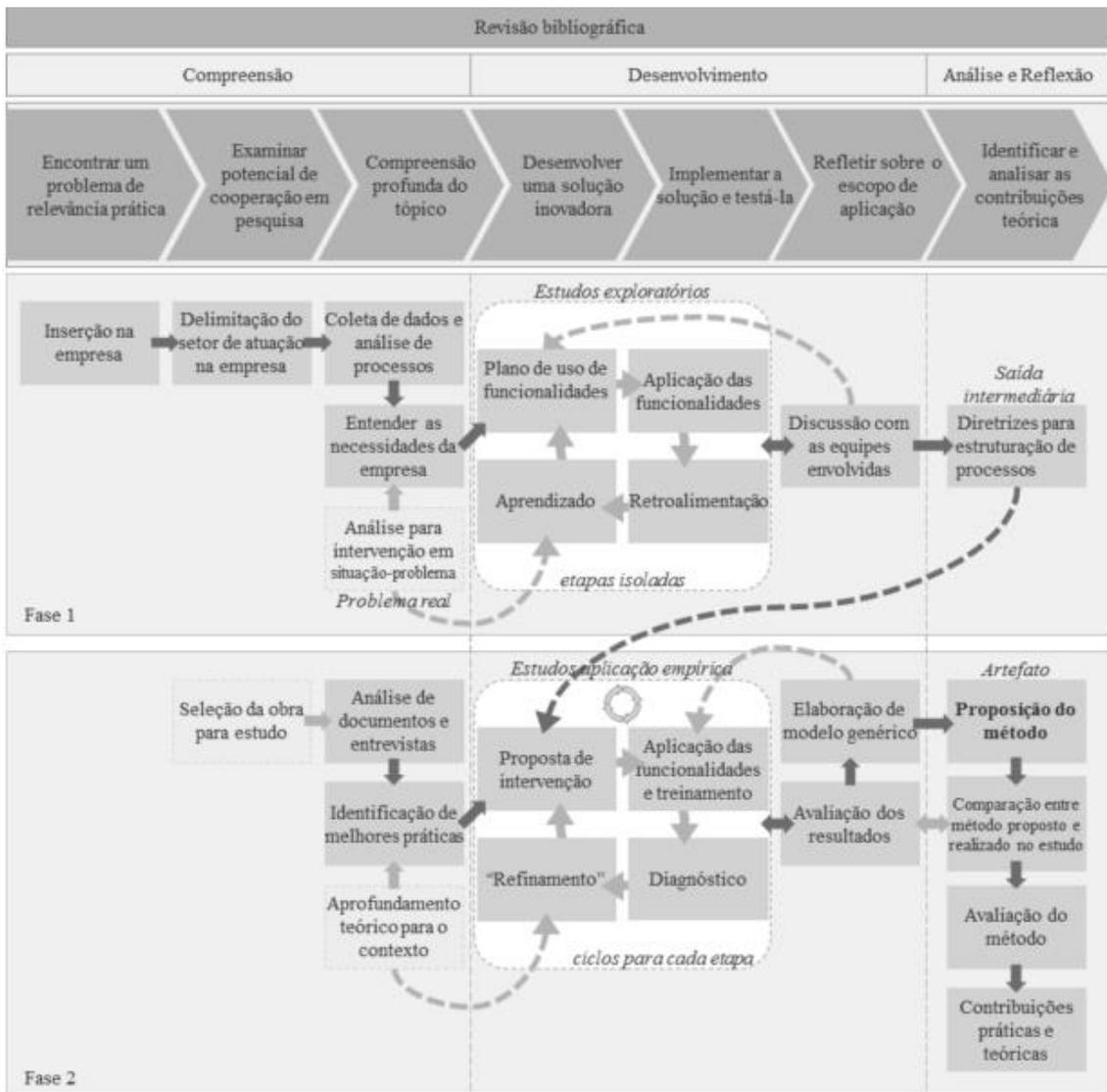
Outro fator que colabora para abordar o Andon é a possibilidade de criar um sistema Cyber Físico, o que torna o painel de controle do Andon, antes fixo na sala da engenharia, um quando virtual e dinâmico, possibilitando seu acompanhamento remoto pelos *stakeholders* (i.e., envolvidos externos no processo).

O resumo da metodologia adotada está na figura 4. O estudo segue os passos indicados por Lukka (2003), Shigaki e Formoso (2015) com uma pequena adaptação, passando a ser aplicada também para os canteiros de obras com uma abrangência de duas grandes fases de cunho empírico: (1) estudos exploratórios com a intenção de definir os constructos do método e estratégias de implementação; e (2) desenvolvimento aplicado (i.e., prova de conceito) e consolidação do artefato.

A validação da modelagem do sistema será realizada em uma empresa construtora da região da grande Salvador, no estado da Bahia, fundada no ano 1999 e tem as práticas da construção enxuta consolidadas em seus empreendimentos.

Esta empresa já entregou pelo menos 10 edificações de médio e alto padrão. Em 2012 conquistou as certificações ISO 9001:2008 em Execução de Obras de Edificações e o Nível A do PBQP-H/SIAC.

**Figura 4 – Delineamento da pesquisa.**



Fonte: Adaptado de SHIGAKI; FORMOSO, 2015

#### 4 RESULTADO PARCIAL DA PESQUISA

A construção civil é uma indústria baseada em projeto, com premissas e variáveis intrínsecas a esta atividade, surgindo com isso dúvidas e questionamentos pela falta ou escassez de repetição dos parâmetros de projeto, combinadas muitas vezes com a indisponibilidade de recursos nos canteiros de obra e escritórios residentes (DAVE *et al.*, 2016).

A repetição de parâmetros de projeto torna-se possível à medida que o fluxo de informações é otimizado, em termos de projeto com adoção da tecnologia BIM e em execução com tecnologias de internet das coisas, sendo estas organizadas de maneira adequada com uso de sistemas baseados em engenharia do conhecimento, mesmo quando existe um grande número de envolvidos.

A pergunta correta a ser feita não seria como fazer uso desta abordagem e sim porque não fazê-la, haja vista que outras engenharias baseadas em projeto e produto único já o fazem.

Oportunidades de implementação dos conceitos de indústria 4.0 em conjunto com a filosofia *Lean* tornam-se evidentes na melhoria das ferramentas adotadas para o exercício dos pilares Just- In-Time e Jidoka da construção enxuta, como ilustra o quadro 1.

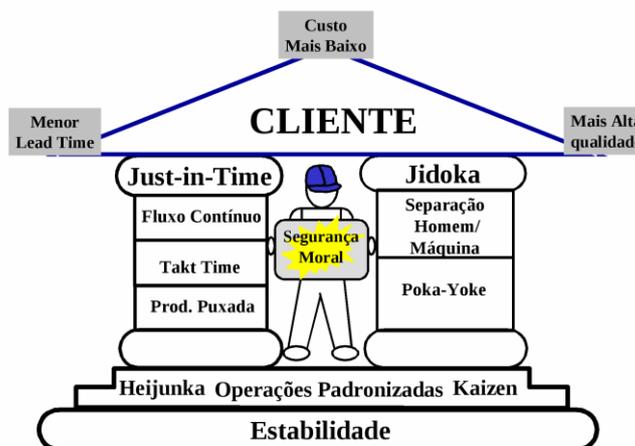
**Quadro 1 – Exemplos de casos de uso combinando indústria 4.0 e Lean Production.**

Industry 4.0	Lean Production	
	Principle: Just-In-Time	Principle: Jidoka
	Method: Kanban system	Method: Andon
Smart Operator	Employee gets information about remaining cycle time via augmented reality	Wearable computing systems receive failures and display it in real time to the employee
Smart Product	Smart Product contains information of Kanban to realize an order-oriented production	-
Smart Machine	Machines offer a standardized interface for receiving and sending Kanban	Machines send failures directly to Smart Operators and call other systems for fault-repair actions
Smart Planner	IT systems reconfigure production lines and update Kanban according to the new configuration	-

Fonte: KOLBERG; ZÜHLKE, 2015

A estrutura central do STP pode ser observada na figura 5, demonstrando de forma visual a importância dos pilares citados e como eles se desdobram para prover menor *Lead Time* (tempo de espera), custos mais baixos de produção e alta qualidade dos produtos, fatores perseguidos pelas indústrias.

**Figura 5 – Estrutura do Sistema Toyota de Produção.**



Fonte: GHINATO, 2000

Após a difusão da construção enxuta pouco se levou em conta os avanços da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), fluxos de recursos e tarefas (KOLBERG; ZÜHLKE, 2015).

Os avanços possibilitados pela TIC demonstram potencial impacto em praticamente todas as áreas de atuação da indústria, basta traçar um paralelo em como se comprava e como se compra hoje um produto eletrônico depois da massificação do uso da internet.

Vale ressaltar que fluxos de recursos e tarefas devem trabalhar paralelamente, haja vista que a realização das tarefas depende dos fluxos de recursos e o progresso dos fluxos de recursos depende da realização das tarefas planejadas.

Uma das razões de tal situação é que projetos de construção, onde não são utilizados sistemas baseados em software, não apresentam medidas para antever ou mensurar o impacto de restrições da produção (i.e. situações que impedem o início de uma atividade programada) identificando sua repercussão na confiabilidade do trabalho antes da execução do planejamento semanal.

Embora já existam sistemas de acompanhamento e controle da produção que abordem a construção enxuta e o BIM conjuntamente (e.g. Kanbim e VisiLean), estes sistemas ainda dependem de dados fornecidos pelos trabalhadores e não necessariamente direcionam informações a parceiros externos da cadeia produtiva, como subcontratados ou fornecedores.

Oportunidades no rastreamento da disponibilidade frente às restrições de produção tornam-se bastante difíceis quando a informação relacionada ao status atual das células ou equipes de produção não é agregada ou sincronizada por qualquer função ou sistema como o proposto neste trabalho.

Hoje é possível integrar a célula de produção com sensores wireless de baixo consumo de energia e extrair dados a cerca da movimentação dos operários, inferir sobre percursos seguros entre equipamentos e status da produção, emulando um Andon e percebendo a presença dos operários (DAGAN; ISAAC, 2015; OMAR; NEHDI, 2016).

Ao adotar uma abordagem como esta, incrementam-se novas funcionalidades, uma vez que, sistemas formais dedicados ao controle da gestão da produção geralmente dependem de interações verbais entre as equipes e os gerentes dificultando assim o fluxo de informação.

Data Mining ou mineração de dados e Machine Learning ou aprendizado de máquina podem auxiliar na compreensão e predição de eventos analisando series históricas de dados e dados não estruturados.

A mineração de dados permite extração de informação de um conjunto de dados e a transformação em uma estrutura entendível para posterior uso, facilitando a obtenção de informação semântica em um contexto organizacional, podendo ser empregada na obtenção de índices de desempenho de equipes ao analisar as entregas e as condições de contorno extrapoladas a tarefas futuras.

O aprendizado de máquina tem como objetivo a construção e estudo de sistemas que podem evoluir através dos dados inseridos com foco na predição, baseado em características conhecidas e aprendidas pelos dados de treinamento (KUENZEL *et al.*, 2016).

Um exemplo prático pode ser construído a partir da observação de falha em um equipamento ou acidentes de trabalho, pode-se inferir sobre futuros acidentes ou falhas sistêmicas e implementar medidas de proteção à vida e da produção, antevendo a necessidade de peças sobressalentes e equipamentos em reserva (TIXIER *et al.*, 2016).

As duas abordagens compartilham ferramentas e conceitos, porém objetivam a resolução de problemas com abordagens distintas, podendo ser aplicadas ao Kanban para ajustar a produção em função de eventos conhecidos e inferência estatística sobre eventos futuros de maneira autônoma (KOLBERG; ZÜHLKE, 2015).

O Physical Web Project liderado pela Google pretende modificar a maneira como interagimos com objetos no cotidiano. A proposta é utilizar a tecnologia *Bluetooth Low Energy* em pequenos rádios transmissores (beacons) com o protocolo Eddystone enviando continuamente uma única informação, a url daquele dispositivo especificamente (BHATTACHARYA; CANUL; KNIGHT, 2016).

Com esta abordagem a experiência se enriquece ao passo que a informação está disponível sob demanda, dispensando a necessidade de download de aplicativos uma vez que a interação se dá através do navegador web.

O Google vem intensificando seus esforços neste projeto, adicionando esta funcionalidade a todos os celulares Android e disponibilizando aplicação nativa para a plataforma da Apple.

Sob este enfoque grande parte dos aplicativos móveis pode deixar de ser uma realidade em alguns anos, haja vista que páginas da web já detêm a capacidade de emular aplicações moveis sem perda significativa.

Diante deste contexto máquinas e equipamentos podem transmitir seu status de funcionamento, gerar painéis virtuais possibilitando ajustes, controle de funcionalidades e programação, gerar relatórios de uso, alertar sobre manutenções agendadas e dispor disso a qualquer um próximo o suficiente para receber estes dados.

Na construção civil ainda não existem estudos desta abordagem especificamente, todavia trabalhos sobre este tema devem ser formulados em breve.

Recentemente estudos sobre o uso de veículos aéreos não tripulados ou VANTs vêm sendo realizados no Brasil e no mundo. Estes estudos apontam as funcionalidades e oportunidades criadas pela adoção deste equipamento na realização de várias tarefas em campo, frisando o baixo custo de operação e rapidez na obtenção dos dados a partir dos VANTs.

Segundo Melo e Costa (2015), embora seu uso ainda seja discreto nos canteiros de obra, entre as funcionalidades estão aerofotogrametria, montagem de estruturas leves, inspeções de qualidade e segurança em áreas de difícil acesso, monitoramento e controle de tráfego, monitoramento de tarefas gerenciais como avanço físico, manutenção de estradas e rodovias, apoio logístico e do planejamento com uso de ferramentas de modelagem 3D e 4D (e.g. Autodesk Revit e Autodesk Navisworks).

Ainda existem questões abertas quanto à regulamentação do uso destes dispositivos para fins comerciais e não recreativos, atualmente a França lidera os esforços de regulamentação internacionalmente, com protocolos bem definidos e difundidos nacionalmente (MELO; COSTA, 2015).

Vale ressaltar que seu uso pode contribuir para uma melhor gestão nos canteiros de obra, otimizando a utilização dos recursos e viabilizando um controle visual e efetivo, sobretudo em obras de grandes dimensões como estradas e rodovias.

O uso de Smartphones e a necessidade de acompanhamento e controle de atividades de transformação ferramentas de reconhecimento de padrões de trabalho de operários podem ser desenvolvidos, lançando mão do conceito de ubiquidade e fazendo uso dos recursos embarcados nos celulares.

Padrões de trabalho e de deslocamentos nos canteiros podem ser monitorados em função de giroscópios e acelerômetros embarcados em smartphones, traçando um paralelo entre produtividade e as atividades desempenhadas em campo individualmente (AKHAVIAN; BEHZADAN, 2016).

Machine Learning e Data Mining, mencionados anteriormente, aplicados a sistemas ubíquos podem ser aliados a estes dispositivos por meio de aplicativos móveis, monitorando e quantificando o esforço laboral em tempo real e alimentando um banco de dados de maneira progressiva e aumentando a eficiência das análises propostas.

#### **4.1 Cenário Andon baseado em beacons bluetooth low energy**

Este cenário é apresentado para demonstrar que o sistema pode ser a porta acesso a outras tecnologias quando há dispositivos inteligentes disponíveis, como tablets e smartphones. Um sistema web baseado em *beacons* BLE é utilizado para atualizar o status da produção e o VisiLean ou outro software de controle da produção. Os principais envolvidos neste panorama são notificados, o fluxo de trabalho e/ou processos relacionados são representados em um quadro de controle do sistema.

O fluxo de trabalho proposto é usado para propósitos específicos e pode ser ajustado de acordo com os envolvidos, aplicando os requisitos e restrições do projeto:

- O processo começa quando o planejamento semanal é elaborado. A principal função da equipe de planejamento é selecionar tarefas livres de restrições para execução na semana seguinte, em relação a cada subcontratado e gestor de produção;
- Após o processo de planejamento semanal, cada gestor de produção listará suas respectivas tarefas no sistema. Cada tarefa tem um identificador único ou identidade da tarefa, um código seriado que auxilia a identificação da tarefa no VisiLean ou outro software;
- Cada ambiente a ser processado, ou seja, que sofre a transformação no projeto terá um ou mais beacons dependendo da lista de tarefas e das limitações de hardware. Neste cenário, um beacon está disponível em cada andar do local na fase de construção.

Uma vez que o sistema é configurado, a equipe do projeto é capaz de atualizar no quadro o status de cada tarefa, conforme o planejamento semanal, podendo constar como iniciada, em andamento, tarefa com risco de parada, tarefa parada, tarefa concluída e tarefa aprovada.

(A) uma vez que a tarefa começa, o gestor de produção da tarefa em questão atualiza o progresso da tarefa para indicar que o trabalho está em andamento;

(B) Caso haja risco iminente de parada, (e.g., material insuficiente para abastecer a célula de produção no período) o gestor atualiza o status da tarefa para amarelo, sinalizando o risco de parada, como um andon comum. Isto alerta aos envolvidos diretos nesta tarefa.

(C) se ocorrer um problema (e.g. falta de material ou força de trabalho), o gestor da produção atualiza o status da tarefa para tarefa parada, para marcar a interrupção do trabalho;

(C) Se não houver mais problemas e se a tarefa for concluída como planejado, levando-se em conta os recursos necessários e planejados, o gestor da produção desta tarefa atualizará o status para tarefa concluída;

(D) Após a verificação de qualidade final pelo engenheiro responsável ou equipe de apoio da qualidade, a tarefa será atualizada para tarefa aprovada;

(E) Todos os envolvidos, próximos aos beacons e de posse de um smartphone ou tablet, podem anexar informações durante a execução e sinalizar dificuldades encontradas durante o processo de transformação. Ao permitir que todos os envolvidos no processo deixem sua contribuição, possíveis dificuldades podem ser percebidas e corrigidas em tempo hábil.

O sistema é capaz de detectar a proximidade dos operários que utilizam um smartphone, fazendo assim um sensoriamento de presença dos funcionários e colhendo dados sobre os deslocamentos por meio de acelerômetros e giroscópios embarcados em seus aparelhos.

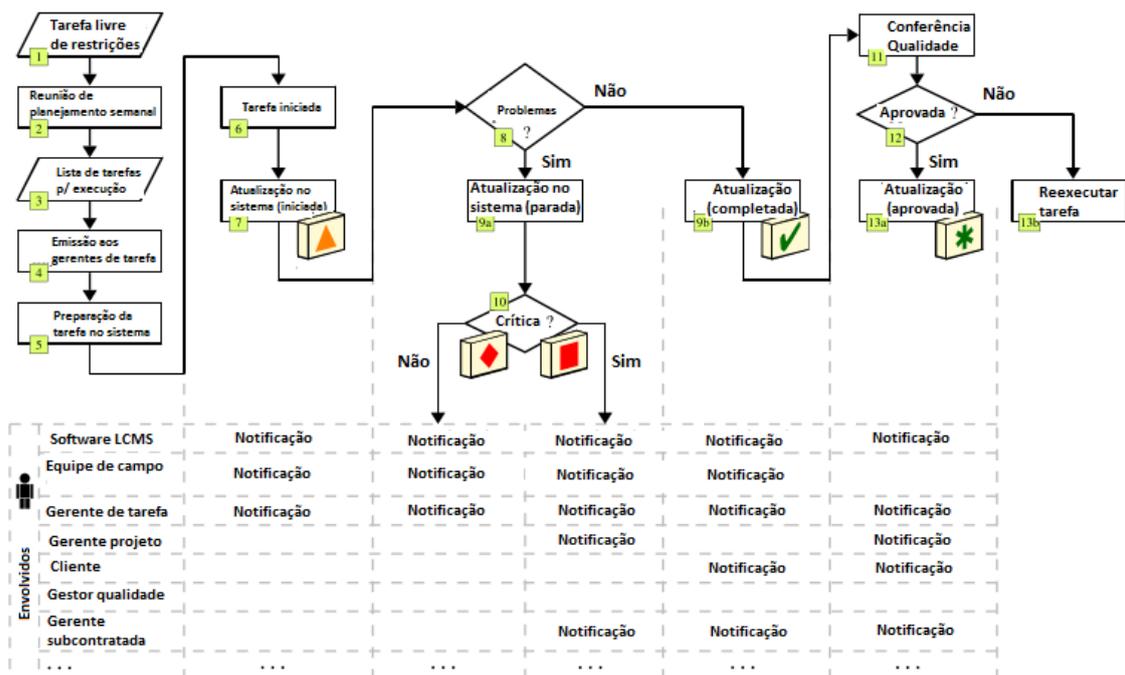
Os interessados no projeto provavelmente desejam receber notificações de acordo com a tarefa, ou mesmo de acordo com o estado da tarefa (e.g., para ter conhecimento de uma tarefa interrompida, mas não quando ela começa), criando assim uma interação baseada em eventos ou baseada em intervalos.

Para cumprir este requisito, é necessário que os envolvidos assinem a tarefa correspondente usando o mecanismo de assinatura baseado em eventos e fornecendo seu respectivo endereço de e-mail ou login como retorno de notificação. Por outro lado, o engenheiro gestor de projeto geralmente se interessaria apenas em ser notificado se a tarefa for interrompida (i.e., apenas quando existe risco de atraso para o próximo planejamento semanal) em vez de receber uma notificação cada vez que uma tarefa for aprovada.

O gerente do projeto estaria interessado em apresentar um resumo semanal (i.e., antes da mudança semanal das tarefas do quadro resumo do sistema), consolidando assim a retirada das restrições de tarefas para o próximo ciclo.

A figura 6 ilustra o fluxo de informações proposto através da integração entre software e hardware, possibilita visualização dos passos na construção da informação ao longo das etapas de transformação percebidas no sistema.

**Figura 6 – Fluxo de informação baseado na integração entre software e hardware.**



A figura 7 ilustra o hardware utilizado na concepção do sistema, um beacon bluetooth low energy com alcance médio de 70 metros produzido na Inglaterra, a duração estimada da bateria excede os 2 anos, embarca sensores de temperatura, pressão, acelerômetro, entre outros.

**Figura 7 – Beacon bluetooth low energy.**



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

## **5 IMPLICAÇÕES DA PESQUISA E CONCLUSÃO**

A entrega de fluxo de informação ao longo do processo construtivo é uma atividade complexa e que envolve uma serie de variáveis. Um bom fluxo de informação é um artifício válido para diminuir os atritos e consolidar as metas planejadas e pactuadas entre as equipes envolvidas, tanto nos canteiros como a jusante, na cadeia produtiva e de suprimentos e logística.

A elaboração de um método inovador, embasado na revisão dos artigos apresentados neste estudo, permitiram identificar os fluxos de informações existentes e os que podem ser implementados com a ferramenta sugerida.

Neste cenário, a forte interdependência entre as equipes e as restrições de trabalhos impostas nestas interações, coloca-se em evidência a necessidade de estabelecer um canal unificado de informação, visando à melhoria do planejamento de médio e longo prazo, não abordados neste trabalho.

Ferramentas baseadas em computação, como a proposta neste estudo, permitem a interoperabilidade e habilitam uma análise das ocorrências de falha e interrupções com uso de técnicas de mineração de dados e aprendizado de máquina, de maneira sistêmica, além de manter um registro histórico das intercorrências.

Como oportunidade a pesquisas futuras, a integração com softwares BIM e ferramentas ágeis de planejamento se mostram promissoras. A modularidade dos outputs do sistema

é outra oportunidade de pesquisa, para consolidar uma abordagem de fato homogênea em termos de interoperabilidade.

O sistema proposto é uma estrutura de comunicação modular e independente, não depende dos sistemas existentes e pode enfrentar desafios futuros referentes à fragmentação e segurança do sistema e mobilidade. Este ainda poderá atender diversas necessidades de comunicação, como: interações sistema-sistema, humano-humano e sistema-humano.

Por fim, o sistema proposto contribui fortemente para "empurrar" ou "puxar" a informação de produção corretamente para os envolvidos e sistemas adequados, fechando assim o ciclo entre o escritório matriz e o escritório local no canteiro de obras.

## REFERÊNCIAS

ADDOR, M. R. A et al. Colocando o “ i ” no BIM. **Usjt - Arq.Urb**, v. 4, p. 104–115, 2010.

**Andon - Citisystems**. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/andon/>>.

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. The internet of things: A survey. **Computer networks**, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.

BALLARD, H. The last planner system of production control. 2000.

D.S. DARAI; S. SINGH; S. DISWAS. Knowledge Engineering - an overview. v. 1, n. 4, p. 230–234, 2010.

DAGAN, D.; ISAAC, S. Planning safe distances between workers on construction sites. **Automation in Construction**, v. 50, p. 64–71, 2015.

DAVE, B. et al. Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards. **Automation in Construction**, v. 61, p. 86–97, 2016.

DRESCH, A. **Design Science e Design Science Research como Artefatos Metodológicos para Engenharia de Produção**. [s.l: s.n.].

FREJ, T. A.; ALENCAR, L. H. Fatores de sucesso no gerenciamento de múltiplos projetos na construção civil em Recife. **Produção**, v. 20, n. 3, p. 322–334, set. 2010.

GHINATO, P. Elementos Fundamentais do Sistema Toyota de Produção. **Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações**, p. 19, 2000.

HEVNER, A. R. Scandinavian Journal of Information Systems A Three Cycle View of Design Science Research. **Scandinavian Journal of Information Systems © Scandinavian Journal of Information Systems**, v. 19, n. 192, p. 87–92, 2007.

KEMMER, S. L. S. L. et al. The use of andon in high rise building. **Understanding and Managing the Construction Process: Theory and Practice - 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-14**, p. 575–582, 2006.

KOLBERG, D.; ZÜHLKE, D. **Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies**. IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). **Anais...Elsevier**, 2015

KOSKELA, L. Application of the new production philosophy to construction. **Center for Integrated Facility Engineering**, p. 1–81, 1992.

LASI, H. et al. Industry 4.0. **Business and Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239–242, 19 ago. 2014.

LUKKA, K. The Constructive Research Approach. In: **Case study research in logistics**, v. Series B, p. 83–101, 2003.

MELO, R.; COSTA, D. **Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para inspeção de logística em canteiros de obra**. Sibragec. **Anais...2015**

OMAR, T.; NEHDI, M. L. Data acquisition technologies for construction progress tracking. **Automation in Construction**, v. 70, p. 143–155, 2016.

SHIGAKI, J. S.-I.; FORMOSO, C. T. **Método integrado de projeto e produção para empresas engineer-to-order com apoio em BIM**

. Sibragec. **Anais...2015** Disponível em:

<[http://www.infohab.org.br/sibraelagec2015/artigos/SIBRAGEC-ELAGEC\\_2015\\_submission\\_198.pdf](http://www.infohab.org.br/sibraelagec2015/artigos/SIBRAGEC-ELAGEC_2015_submission_198.pdf)>. Acesso em: 19 nov. 2016

WEISER, M. The computer for the 21st century. **Scientific american**, 1991.