



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS
GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

TIAGO VILELA CAMPOS

**LEAN CONSTRUCTION (CONSTRUÇÃO ENXUTA): ANÁLISE QUANTITATIVA DE
SUA APLICAÇÃO EM UNIDADES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES EM DIVINÓPOLIS-
MG**

**BELO HORIZONTE
DEZEMBRO 2020**

**LEAN CONSTRUCTION (CONSTRUÇÃO ENXUTA): ANÁLISE QUANTITATIVA DE
SUA APLICAÇÃO EM UNIDADES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES EM
DIVINÓPOLIS-MG**

**Dissertação de curso apresentada ao Programa
de Pós Graduação em Engenharia de Civil do
Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito para obtenção do
título de Mestre em Engenharia de Produção
Civil.**

Orientador: Prof. Dr. Rogério Cabral de Azevedo

BELO HORIZONTE

2020

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

TIAGO VILELA CAMPOS

**LEAN CONSTRUCTION (CONSTRUÇÃO ENXUTA): ANÁLISE QUANTITATIVA DE
SUA APLICAÇÃO EM UNIDADES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES EM
DIVINÓPOLIS-MG**

Dissertação de curso apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção Civil.

Aprovado em DEZEMBRO 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Doutor Rogério Cabral de Azevedo – Orientador

Prof. Doutor Antônio Edésio Jungles (UFSC)

Prof. Doutora Hersília de Andrade e Santos (CEFET-MG)

C198l Campos, Tiago Vilela
Lean construction (construção enxuta): análise quantitativa de sua aplicação em unidades residenciais unifamiliares em Divinópolis / Tiago Vilela Campos. – 2020.
135 f. : il., gráfs, tabs., fotos.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Orientador: Rogério Cabral de Azevedo.
Bibliografia: f. 94-101.
Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil

1. Indústria da construção – Administração – Divinópolis (MG) – Teses. 2. Construção civil – Eficácia de custos – Divinópolis (MG) – Teses. 3. Redução de resíduos – Divinópolis (MG) – Teses. 4. Construção sustentável – Divinópolis (MG) – Teses. I. Azevedo, Rogério Cabral. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD 690.06809151

RESUMO

A adoção das ferramentas do *lean construction* visam racionalizar o uso de materiais e aproveitar ao máximo a mão de obra disponível, evitando desperdícios e a execução de atividades que não agregam valor ao produto. Ressalta-se, porém, a escassez de estudos que avaliem quantitativamente os resultados obtidos, permitindo sua categorização estatística ou econômica. Com o objetivo de avaliar quantitativamente os benefícios obtidos pela implantação de ferramentas do *lean construction* na execução de determinadas atividades de construção de habitações residenciais unifamiliares este trabalho analisou os índices de produtividade, as variações no consumo de insumos e na geração de resíduos resultantes da execução de duas unidades habitacionais idênticas (a primeira executada da forma tradicional e a segunda após treinamento da equipe nas ferramentas do *lean construction*). Para tanto foram aplicadas as seguintes ferramentas da construção enxuta: sistema de gestão da qualidade, adoção de recursos visuais e conferências gerenciais. A avaliação da produtividade, consumo de insumos e geração de resíduos foi realizada sobre as seguintes atividades: formas, elevação de alvenaria, armação, chapisco interno e externo, emboço/reboco interno e externo, assentamento de revestimentos de parede, assentamento de pisos. A partir dos dados coletados foram realizados testes estatísticos, tais como análise de variância e testes de comparação de médias para avaliar se houve diferença estatisticamente significativa entre as atividades avaliadas. Foi observado que a adoção das ferramentas do *lean construction* geraram aumento estatisticamente significativo de eficiência produtiva para as atividades avaliadas apresentando como melhores resultados: 51.86% e 42.47% de aumento dos índices de produtividade para as atividades de chapisco externo e armação respectivamente. Ressalta-se que apenas para a atividade de assentamento de pisos não houve melhora estatisticamente comprovada. Por outro lado, com a adoção das ferramentas do *lean construction* auxiliou na redução do consumo de insumos nas atividades e existiu redução de 5,71% no volume de resíduos gerados para a execução das habitações.

PALAVRAS-CHAVE: lean construction, construção enxuta, gestão de resíduos e insumos.

ABSTRACT

The lean construction tools aims to rationalize the use of materials and make the most of available labor, avoiding waste and activities that do not add value to the product. However, it is noteworthy the lack of studies that quantitatively evaluate the results obtained by lean construction tools, allowing its statistical or economic categorization. In order to quantitatively evaluate the benefits obtained by the implementation of lean construction tools in single-family residential housing by the execution of certain activities of construction, this work analyzed the productivity indexes, the range in inputs consumption and the residues generation resulting by the execution of two identical housing units (the first executed by traditional methodology and the second after lean construction tools training). Therefore, the following lean construction tools were applied: quality management system, adoption of visual resources and last system planner. The productivity evaluation, inputs consumption and waste generation was carried out on the following activities: forms, masonry elevation, steel frame, internal and external roughcast, internal and external cement plastering, wall and floor cladding laying. Based on the collected data, statistical tests were performed, such as variance analysis and mean difference tests to assess whether there was a statistically significant difference between the activities evaluated. It was observed through data evaluation that the adoption of lean construction tools generated a statistically significant increase in production efficiency for the evaluated activities, presenting like the best results: 51.86% and 42.47% increase in productivity indices for the activities of external roughcast and steel frame, respectively. It is noteworthy that only for the activity of floor cladding laying there was no statistically proven improvement. On the other hand, the lean construction tools adoption helped to reduce the consumption of inputs in activities and there was a reduction of 5.71% in the waste generated volume for the houses construction.

PALAVRAS-CHAVE: lean construction, waste management, supply management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fachada do empreendimento modelo	41
Figura 2 - Planta baixa do empreendimento modelo	41
Figura 3 - Curva ABC do empreendimento – Em azul, itens de maior representatividade nos custos do empreendimento	42
Figura 4 - Layout canteiro de obras - Sistema de gestão tradicional	52
Figura 5 - Layout canteiro de obras - Adoção das ferramentas do <i>lean construction</i>	53
Figura 6 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) - Alvenaria	64
Figura 7 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) – Assentamento de pisos	68
Figura 8 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) - Fôrmas	70
Figura 9 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) - Armação.....	71
Figura 10 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) – Chapisco Interno	73
Figura 11 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) – Emboço/reboco interno.....	75
Figura 12 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) – Emboço/reboco externo.....	77
Figura 13 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) – Assentamento de revestimentos	79
Figura 14 – Curva de comportamento das atividades avaliadas adotando o método de gestão tradicional.....	82
Figura 15 – Curva de comportamento das atividades avaliadas adotando as ferramentas do <i>lean construction</i>	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Insumos gastos na produção da alvenaria	54
Tabela 2 - Insumos gastos na produção da fôrmas	55
Tabela 3 - Insumos gastos na produção do aço	56
Tabela 4 - Insumos gastos na produção de chapisco interno e externo	57
Tabela 5 - Insumos gastos na produção de emboço/reboco interno e externo	58
Tabela 6 - Insumos gastos no assentamento de pisos e revestimentos	58
Tabela 7 - Análise de variância das razões unitárias de produção para alvenaria, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp).	61
Tabela 8 - Teste de Tukey entre as metodologias para a alvenaria	62
Tabela 9 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional - Alvenaria	63
Tabela 10 - Análise de variância das razões unitárias de produção para chapisco externo, avaliando os fatores metodologia (met) e equipes (eqp).....	64
Tabela 11 - Teste de Tukey entre as metodologias para o chapisco externo.....	65
Tabela 12 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional – Chapisco Externo.....	66
Tabela 13 - Análise de variância das razões unitárias de produção para assentamento de pisos, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp).....	66
Tabela 14 - Teste de Tukey entre as metodologias para assentamento de pisos.....	67
Tabela 15 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional para assentamento de pisos.....	67
Tabela 16 - Análise de variância das razões unitárias de produção para fôrmas, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp).	69
Tabela 17 - Teste de Tukey entre as metodologias para as fôrmas	69
Tabela 18 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional para fôrmas	69
Tabela 19 - Análise de variância das razões unitárias de produção para armação, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp)	70
Tabela 20 - Teste de Tukey entre as metodologias para a armação	71
Tabela 21 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional para armação	71
Tabela 22 - Análise de variância das razões unitárias de produção para chapisco interno, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp)	72
Tabela 23 - Teste de Tukey entre as metodologias para o chapisco interno.....	72
Tabela 24 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional – Chapisco Interno	73

Tabela 25 - Análise de variância das razões unitárias de produção para emboço/reboco interno, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp).....	74
Tabela 26 - Teste de Tukey entre as metodologias para emboço/reboco interno.....	74
Tabela 27 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional para emboço/reboco interno.....	74
Tabela 28 - Análise de variância das razões unitárias de produção para emboço/reboco externo, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp).....	75
Tabela 29 - Teste de Tukey entre as metodologias para emboço/reboco externo.....	76
Tabela 30 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional para emboço/reboco externo.....	76
Tabela 31 - Análise de variância das razões unitárias de produção para assentamento de revestimentos, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp).....	77
Tabela 32 - Teste de Tukey entre as metodologias para assentamento de revestimentos	78
Tabela 33 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional para assentamento de revestimentos	78
Tabela 34 – Volume de resíduos para a metodologia tradicional e com a adoção de ferramentas do <i>lean construction</i>	85
Tabela 35 – Insumos utilizados nas atividades avaliadas nas duas metodologias (tradicional x <i>lean construction</i>).....	87
Tabela 36 – Avaliação estatística da diferença entre as razões unitárias de produção avaliadas nas duas metodologias (tradicional x <i>lean construction</i>)	88
Tabela 37 – Média das RUP's nas atividades avaliadas nas duas metodologias (tradicional x <i>lean construction</i>).....	89
Tabela 38 – Dias trabalhados nas atividades avaliadas nas duas metodologias (tradicional x <i>lean construction</i>).....	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fontes de perdas na construção civil	30
Quadro 2 - Barreiras para a implementação do <i>lean construction</i>	31
Quadro 3 – Ferramentas do <i>lean construction</i> observadas nos estudos avaliados	32
Quadro 4 – Vantagens na adoção das ferramentas do <i>lean construction</i>	34
Quadro 5 - Enquadramento Metodológico	37
Quadro 6 - Modelo de Tabela para coleta dos dados in loco.	44
Quadro 7 - Apresentação das atividades, das formas de mensuração e dos dados coletados nos empreendimentos	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas e Técnicas

CEFET-MG - Centro Federal de Educação Tecnológica-Minas Gerais

DEC - Departamento de Engenharia Civil

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

RUP – Razão Unitária de Produção

LISTA DE SIMBOLOS

°C – graus Celsius

% - percentual

m² – metro quadrado

m³ – metro cúbico

Kg – Quilograma

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS: GERAL E ESPECÍFICOS	16
1.2 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES:.....	16
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 CONCEITUAÇÃO TEÓRICA	20
2.2 PRINCÍPIOS DO <i>LEAN CONSTRUCTION</i>	21
2.3 FERRAMENTAS DO <i>LEAN CONSTRUCTION</i>	23
2.4 AVALIAÇÃO ENTRE A METODOLOGIA TRADICIONAL E O <i>LEAN CONSTRUCTION</i>	26
2.5 RAZÃO UNITÁRIA DE PRODUÇÃO	28
2.6 ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1 MÉTODOS DE ABORDAGEM:.....	36
3.2 MÉTODOS DE PROCEDIMENTOS:	38
4 DESENVOLVIMENTO	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
5.1 INSUMOS	54
5.1.1 Alvenaria	54
5.1.2 Fôrmas	55
5.1.3 Armação	56
5.1.4 Chapisco Interno e Externo	56
5.1.5 Emboço/Reboco Interno e Externo	57
5.1.6 Assentamento de Revestimentos e Pisos.....	58
5.2 PRODUTIVIDADE	59
5.2.1 Alvenaria	61
5.2.2 Chapisco Externo	64
5.2.3 Assentamento de Pisos	66
5.2.4 Fôrmas	68
5.2.5 Armação	70
5.2.6 Chapisco Interno	72
5.2.7 Emboço/Reboco Interno	73
5.2.8 Emboço/Reboco Externo	75
5.2.9 Assentamento de Revestimentos	77
5.2.10 Discussão dos resultados apresentados em 5.2.4 a 5.2.9	79
5.2.11 Relação entre produtividade e dias produtivos	82

5.3 RESÍDUOS.....	84
5.4 SÍNTESE: INSUMOS E PRODUTIVIDADE	86
6 CONCLUSÕES	91
7 TRABALHOS FUTUROS	93
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
APÊNDICE	102

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é classificado entre as indústrias mais importantes a nível mundial, com significativa contribuição para o crescimento econômico dos países (TEZEL; KOSKELA; AZIZ, 2018). Para a economia nacional, a indústria da construção civil ocupa posição de destaque, sendo responsável por uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) do país. Dados de 2017, fornecidos pelo IBGE, indicam que o setor da construção civil responde a cerca 14,2% do PIB nacional (IBGE, 2019).

Apesar de ser um setor de destaque econômico, este setor também se destaca como gerador de resíduos e pela ineficiência (MATTOSINHO; PIONÓRIO, 2009). O setor de construção civil é responsável pela emissão de altas taxas de gás carbônico (OTI; TIZANI, 2015), além de impactar de maneira acentuada o meio ambiente por meio da alta produção de resíduos sólidos. No Brasil, por exemplo, os resíduos de construção civil podem representar 61% dos resíduos sólidos urbanos, e, em massa, é estimado que o país produza cerca de 31 milhões de toneladas de resíduos de construção por ano (FERNANDEZ, 2012).

Grande parte desses problemas deve-se a adoção de processos construtivos ineficientes, mão de obra desqualificada e altas taxas de perdas. Tal ineficiência, acaba por gerar impactos significativos nos custos dos projetos e no tempo de execução, sendo esses impactos significativos para os resultados finais dos empreendimentos (NAGAPAN; RAHMAN; ASMI, 2012). Com tal ineficiência o setor da construção civil não se desenvolve de maneira sustentável.

Nesse contexto de baixa eficiência industrial, a metodologia *lean* se apresenta como uma ferramenta adequada para auxiliar no desenvolvimento de processos mais eficientes e sustentáveis. Essa metodologia visa racionalizar o uso de materiais e aproveitar ao máximo a mão de obra disponível, evitando a produção de resíduos e a execução de atividades que não agreguem valor ao produto (NIKAKHTAR *et al.*, 2015).

No cotidiano atual, a metodologia *lean construction* tem sido aplicada na construção civil com sucesso para redução dos resíduos gerados no desenvolvimento dos empreendimentos, redução nos atrasos de obra, aumento na performance dos projetos com o uso de práticas de planejamento, aumento da satisfação dos clientes e redução nos riscos construtivos (NIKAKHTAR *et al.*, 2015).

Estudos como os de Alinaitwe (2009), Dixit *et al.* (2017) e Ogunbiyi, Oladapo e Goulding (2013), realizados em diferentes países, retratam as vantagens que a aplicação de ferramentas do *lean construction* podem gerar nos processos construtivos. Dentre as

vantagens apresentadas pelos autores estão: melhora na eficiência produtiva, redução nos desperdícios, aumento da segurança nos canteiros de obras, padronização dos processos construtivos, redução de atividades que não agregam valor ao produto, etc.

Esses estudos avaliam qualitativamente a aplicação das ferramentas do *lean construction*, ou seja, apenas apresentam quais as ferramentas mais utilizadas em cada país, as vantagens obtidas com a utilização das ferramentas do *lean construction* e as barreiras encontradas para implementação das mesmas. Porém, deve ser ressaltado que são raros os estudos encontrados na literatura que avaliem quantitativamente as melhoras obtidas nos índices de produtividade mensurados a partir da adoção das ferramentas do *lean construction*.

Como já explicitado a avaliação qualitativa da metodologia é importante e amplamente estudada. Porém, tal análise não considera alguns fatores tidos como importantes para a tomada de decisão sobre a viabilidade da aplicação das ferramentas do *lean construction*, em relação aos métodos tradicionais. Esses fatores, como, por exemplo, as diferenças entre o consumo de insumos, índices de produtividade, geração de resíduos e outros, podem oferecer viabilidade para os esforços necessários à adoção de metodologias mais sustentáveis, como o *lean construction*.

Em um contexto onde os métodos construtivos tendem a ser cada vez mais eficientes e buscam a redução na produção de resíduos e custos, estudos quantitativos sobre a adoção das ferramentas do *lean construction* são necessários para a tomada de decisões no mercado da construção civil. Dessa maneira, levanta-se a seguinte questão de pesquisa: há benefícios quantitativos advindos da implantação do *lean construction* que podem ser obtidos em relação a produtividade, consumo de insumos, desperdício, retrabalho e geração de resíduos comparando-os com o método tradicional?

Este trabalho se propõe a pesquisar as ferramentas do *lean construction*, identificando as mais aplicadas na atualidade na construção civil, e avaliar sua aplicação na construção de unidades residenciais unifamiliares, com o intuito de verificar quantitativamente as consequências que tais ferramentas podem gerar na indústria da construção civil da região estudada.

A pesquisa identificou as seguintes ferramentas (i) sistema de planejamento intensivo; (ii) instruções técnicas e fichas de verificação de serviços; (iii) suprimentos com metodologia *just in time*; e (iv) 5s, associadas à gestão da qualidade total, ao uso de recursos visuais e a programação de trabalho em equipe. Tais ferramentas foram aplicadas em obras residenciais construídas sob as mesmas condições, a saber, mesmo projeto, infraestrutura básica, pavimentação, disponibilidade de mão de obra e de materiais com o intuito de

responder à questão de pesquisa realizando uma avaliação quantitativa da implementação de ferramentas do *lean construction* na execução de habitações residenciais unifamiliares.

1.1 OBJETIVOS: GERAL E ESPECÍFICOS

Este trabalho tem como objetivo geral identificar e avaliar quantitativamente os benefícios obtidos pela implantação de ferramentas do *lean construction* na execução de determinadas atividades de construção de habitações residenciais unifamiliares.

Os objetivos específicos são:

- a) Identificar quais as ferramentas do *lean construction* são as mais utilizadas na construção civil de acordo com o portfólio de artigos estudado.
- b) Definir quais atividades da produção de unidades residenciais são mais representativas para mensuração e comparação de produtividade, consumo de insumos, desperdício, retrabalho e geração de resíduos.
- c) Quantificar os insumos consumidos e resíduos gerados adotando o sistema de gestão tradicional e as ferramentas do *lean construction*.
- d) Analisar os indicadores de produtividade entre os dois métodos de gestão por meio de análise estatística dos dados avaliados.

1.2 RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES:

A pesquisa realizou a avaliação de dados obtidos em unidades residenciais de pequeno porte. Tal tipo de edificação gerou uma série de restrições e limitações quanto ao conteúdo dos dados avaliados. Foram limitações observadas na pesquisa: a quantidade de dados obtidos, as atividades avaliadas e o tempo de execução das atividades.

Durante o tempo de pesquisa foi possível apenas a execução de duas unidades residenciais. A partir de tal limitante, foram coletados dados referentes a apenas tais unidades. Em termos estatísticos os dados eram suficientes para comprovar a hipótese proposta pela pesquisa, porém, a avaliação de mais unidades seria mais esclarecedora em termos de dados e de análises. Dessa forma, existiu uma limitação quanto ao número de dados coletados e analisados.

Outro fator limitante na pesquisa foram as atividades avaliadas. Optou-se por limitar as atividades avaliadas apenas às atividades que estavam presentes no caminho crítico de execução do empreendimento e que compunham as atividades de maior peso na curva ABC de custos do empreendimento. Dessa forma, outras atividades que existiram nos empreendimentos não foram avaliadas.

Além da limitação quanto às atividades avaliadas, o tempo de execução das atividades foi um fator limitante. No empreendimento analisado, todas as atividades avaliadas possuem baixa duração, dessa forma, o comportamento inicial de tais atividades foi representativo durante a análise dos dados. Nesse cenário não foram realizadas avaliações em que os colaboradores permaneçam por grandes períodos executando as mesmas atividades, o que se apresenta como outro fator limitante da pesquisa.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O problema de baixa produtividade da construção tem permanecido uma questão importante na indústria da construção de países desenvolvidos e em desenvolvimento (ENSHASSI *et al.*, 2007). A melhoria na produtividade da construção aumentaria os lucros gerados no setor, bem como proporcionariam redução no consumo de insumos para a indústria. Dessa forma, a adoção de métodos inovadores para melhorar a produtividade da construção, em termos de gestão e de métodos executivos se destaca como fator importante para o desenvolvimento do setor (SIRIWARDANA RUWANPURA, 2012).

Inúmeras pesquisas são realizadas em relação à produtividade e a eficiência na indústria da construção civil. A identificação dos fatores relevantes que afetam a produtividade da construção é um critério essencial para melhorar a produtividade na indústria da construção (GHODDOUSI HOSSEINI, 2012).

Em seu estudo, Hasan *et al.* (2018), afirma que dentre os mais citados problemas para o aumento da produtividade na construção civil tem-se: falta de materiais disponíveis, supervisão inadequada das atividades, escassez de mão de obra qualificada, falta de ferramentas adequadas para a execução dos serviços, falta de projetos ou especificações técnicas para a execução das atividades, baixa comunicação entre as equipes, dentre outros.

Nesse contexto, a adoção das ferramentas do *lean construction* se apresentam como uma maneira de solucionar tais problemas. Inúmeros benefícios obtidos com a aplicação das ferramentas do *lean construction* na construção civil são relatados na literatura. Estudos como os de: Alinaitwe (2009), Dixit *et al.* (2017), Ogunbiyi *et al.* (2013), Sarhan *et al.* (2017), relatam as seguintes vantagens: canteiro de obras organizado, existência de projetos detalhados, sistema de gerenciamento participativo entre as equipes, padronização dos processos, qualificação da mão de obra, comunicação eficiente entre as equipes, compreensão das necessidades do cliente, melhora na imagem corporativa, aumento da produtividade, redução do desperdício, redução no consumo de energia, redução dos custos, eliminação das atividades que não geram valor agregado, aumento na segurança

do canteiro de obras, aumento na qualidade do produto e aumento na satisfação dos envolvidos no processo construtivo e na cadeia de suprimentos.

Todas essas vantagens podem ser agrupadas como formas de aumento da eficiência do processo produtivo. Em um mercado tão competitivo como o de hoje e com necessidades cada vez maiores de construções sustentáveis, a execução de empreendimentos eficientes agrega valor ao produto e atende às necessidades do mercado (HERMES, 2015). No entanto não foram evidenciados estudos que avaliem quantitativamente nem mesmo as vantagens claramente associadas à custos como: aumento da produtividade, redução do desperdício, redução no consumo de energia, redução dos custos, eliminação das atividades que não geram valor agregado.

Com a pesquisa propõe-se avaliar quantitativamente as melhoras obtidas nos índices de produtividade mensurados a partir da adoção das ferramentas do *lean construction*, realizando comparações estatísticas entre tais índices e os índices aferidos adotando os métodos de gestão tradicional. Nesse contexto, a pesquisa se enquadra como um tema inovador e de relevância científica, visto que, a pesquisa irá realizar uma avaliação numérica sobre quais os benefícios a adoção das ferramentas do *lean construction* podem gerar em relação aos índices de produtividade, consumo de insumos e geração de resíduos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A indústria da construção civil é caracterizada por alta geração de resíduos especialmente em sistemas de gerenciamento tradicionais. A adoção de tais sistemas leva a baixa performance, recorrência em atrasos e custos extras, além de apresentar um ambiente de trabalho com baixas condições de segurança. Nesse contexto a metodologia *lean construction* surge como uma forma alternativa de sistema para o gerenciamento dos empreendimentos. Com a adoção de ferramentas do *lean construction* é possível aumentar a eficiência do processo construtivo e reduzir ao mínimo atividades que não acrescentem valor aos clientes (BAJJOU; CHAFI EN-NADI, 2017).

Dentre os desafios para a sustentabilidade do setor de construção, encontram-se: excesso de produção de resíduos, desperdício nos processos construtivos, excesso de confiança nos recursos, alto uso de energia, emissões de carbono, projetos mal desenvolvidos e baixa produtividade (AHUJA; SAWHNEY; ARIF, 2017). Além disso, processos administrativos ineficientes, apesar de raramente serem vistos como um fator de significância para a produtividade, podem influenciar diretamente na produção e normalmente são a primeira causa de atrasos durante a construção (BELAYUTHAM; GONZÁLEZ; YIU, 2016).

Formoso *et al.* (1997), identificam nove categorias de perdas na construção civil segundo a natureza, sendo: superprodução, substituição, espera, transporte, processamento, estoque, movimento, elaboração de produtos defeituosos e outras.

As fontes de perda são oriundas de diferentes pontos de ineficiência produtivos. As perdas por superprodução, substituição e estoque são perdas que tem origem na ineficiência do planejamento produtivo, ou seja, ocorre uma produção acima do necessário gerando custos desnecessários (FORMOSO *et al.*, 1997). As perdas por espera, transporte e movimento estão vinculadas ao uso de atividades de não geram valor agregado ao produto, ou seja, os ciclos produtivos não foram desenvolvidos de maneira eficiente. Por último, as perdas por processamento, pela produção de produtos defeituosos têm origem na execução de processos fora do padrão proposto pelos procedimentos operacionais e também durante as linhas de produção (FORMOSO *et al.*, 1997).

Observando a indústria da construção percebe-se uma série de características únicas que acabam por dificultar o gerenciamento das atividades por meio da metodologia de gerenciamento tradicional. Por exemplo, cada empreendimento necessita de áreas para operações técnicas, depósito para materiais pesados, estoque de materiais finos, etc. A aplicação dos métodos de administração tradicionais no período de construção, tipicamente

geram operações ineficientes, visto que, eles não preveem melhorias nos processos. Utilizando as ferramentas de gerenciamento da metodologia *lean construction*, onde a produção é interpretada como uma rede de processos e operações é possível gerenciar todo o processo construtivo de maneira compreensiva, desde a fase de projeto até a entrega, bem como implementar melhorias no processo durante sua execução (NOWOTARSKI; PASŁAWSKI; MATYJA, 2016)

2.1 CONCEITUAÇÃO TEÓRICA

Inicialmente desenvolvida pela indústria automotiva japonesa, onde é conhecida como o Sistema de Produção Toyota, a produção auxiliada pela metodologia *lean* é aplicada mundialmente em uma série de indústrias e em vários setores produtivos. Os esforços iniciais da indústria Toyota atuaram sobre os tempos de regulação e parada das máquinas e a aplicação do processo de gestão da qualidade total por meio do desenvolvimento de um sistema de produção mais simples e que conseguisse atender os desejos dos consumidores, com o uso de estoques mínimos para os insumos (MARHANI; JAAPAR; BARI, 2012). O sistema de produção enxuta, ou *lean production* engloba uma variedade de sistemas de produção que compartilham como princípios: redução na geração de resíduos, auto responsabilização para mudanças, *just-in-time*, relação efetiva com a adição de valor agregado, melhoria contínua e gestão da qualidade (MURMAN *et al.*, 2002).

De acordo com Koskela L. (1993), o conceito de *lean construction* objetiva racionalizar o uso de materiais e mão de obra em empreendimentos de construção civil evitando ao máximo a produção de resíduos e as atividades que não adicionam valor agregado (KOSKELA L., 1993). A utilização dessa metodologia na construção civil tem sido implementada de maneira efetiva em vários países, atuando com sucesso para a redução na produção de resíduos, maior atendimento aos prazos e aumento na performance das construções no que diz respeito a segurança no canteiro de obras, satisfação dos clientes e práticas de planejamento. (KOSKENVESA *et al.*, 2010).

Como já apresentado, existem inúmeras perdas durante o processo construtivo, desde perdas de mão de obra até perdas materiais, além de serem geradas altas taxas de resíduos (GARZA-REYES, 2015). De acordo com Nowotarski *et al.* (2016), em indústrias que adotam a metodologia *lean* o tempo produtivo representa cerca de 88%, enquanto o tempo perdido representa apenas 12%. Ainda de acordo com Nowotarski *et al.* (2016), na construção civil esses índices são piores, sendo 43% do tempo destinado a produção, enquanto em 57% do tempo são geradas perdas produtivas. Nesse contexto a aplicação

da metodologia *lean* na construção civil surge como uma solução aplicável, quando objetiva-se aumentar a eficiência do processo construtivo (AZIZ; HAFEZ, 2013).

2.2 PRINCÍPIOS DO *LEAN CONSTRUCTION*

Os primeiros registros técnicos que visavam sintetizar a utilização do *lean* na construção civil estão apresentados no relatório técnico “*Application of the New Production Philosophy to Construction*” (aplicação da nova filosofia de produção para a construção – tradução do autor) produzido em 1992 por Lauri Koskela. No relatório o autor apresenta como aplicar as características e definições existente na metodologia do *lean production* para a realidade da construção civil (KOSKELA, 1992).

Para atingir tais objetivos a metodologia se baliza em onze princípios fundamentais: redução das atividades que não agregam valor ao produto, aumento do valor do produto de acordo com as necessidades do cliente, redução da variabilidade dos produtos, redução no tempo de ciclo de produção, simplificação do número de passos ou partes de um processo, aumento da flexibilidade do produto, aumento da transparência do processo, controle do processo global e não somente suas partes, introdução do sistema de melhoria contínua no processo, balanço das melhorias entre o fluxo e as conversões e aplicação constante de benchmarking (KOSKELA, 1992).

O primeiro princípio apresenta a necessidade de redução ou eliminação de atividades que não agregam valor ao produto. As atividades que agregam valor ao produto são aquelas que convertem o material ou informações em direção ao que os consumidores procuram, ou seja, as atividades que geram valor aos olhos do cliente. Por outro lado, tem-se as atividades que não geram valor são aquelas que utilizam de insumos, sejam eles humanos ou materiais, e não geram valor ao produto (MAYER *et al.*, 2015). Nesse sentido, o fluxo de trabalho, os tempos de espera de insumos, a ordem executiva e o fluxo produtivo devem ser avaliados constantemente para reduzir ou eliminar as atividades que não agreguem valor (KOSKELA L., 1993).

O segundo princípio objetiva aumentar o valor do produto de acordo com as necessidades do cliente. O valor do produto é determinado pelo cliente de acordo com o atendimento às suas necessidades reais, sendo assim, percebe-se a necessidade de realizar a análise de todo o fluxo produtivo, definindo em cada estágio quem é o consumidor e quais são seus requisitos de atendimento (KOSKELA, 1992).

O terceiro princípio defende a redução máxima da variabilidade na produção. A variabilidade é inerente ao processo produtivo. Mesmo produzindo dois produtos idênticos,

há variabilidade na mão de obra, insumos, tempo, etc. Reduzir a variabilidade é adequado sob dois pontos de vista: para o cliente um produto idêntico é melhor, visto que, pode-se esperar sempre o que ir-se-á consumir e para o sistema produtivo, quanto menor a variabilidade, menor serão as atividades que não agregam valor (KRUPKA, 1992).

O quarto princípio objetiva reduzir o tempo do ciclo de produção. Cada ciclo de produção é definido pelo tempo que é gasto entre quatro atividades: tempo de processamento, tempo de inspeção, tempo de espera e tempo de movimentação. Observa-se que dentre essas atividades, as três últimas são atividades que não agregam valor ao produto. Sendo assim, deve-se avaliar os processos, afim de reduzi-las ao máximo. Vale ressaltar que a redução dessas atividades além de reduzir o tempo de produção, agrega os seguintes benefícios: entrega mais rápida ao cliente, redução na necessidade de fazer previsões sobre a demanda futura, redução da interrupção do processo de produção devido a pedidos de alteração e gerenciamento simplificado, porque há menos pedidos de clientes para acompanhar (SCHMENNER, 1988).

O quinto princípio sugere a redução e simplificação do número de etapas e partes no sistema produtivo. Sistemas complexos tendem a gerar problemas na produção e são menos confiáveis. Sendo assim, a simplificação deve ser observada por meio da redução no número de componentes de um produto ou na redução do número de processos no fluxo de um produto. Além disso, a simplificação dos processos pode ser apresentada com a eliminação de atividades que não geram valor agregado (KOSKELA, 1992).

O sexto princípio visa aumentar a flexibilidade do produto. A flexibilização do produto deve ser observada como a possibilidade de personalização do produto final. Observa-se que esse princípio pode ser contraditório ao anterior, porém deve-se atentar a personalização do produto dentro da realidade produtiva, ou seja, dentro dos módulos possíveis que já existem no sistema produtivo (KRUPKA, 1992).

O sétimo princípio visa o aumento da transparência no processo produtivo. Em sistemas produtivos onde as informações não são claras ou não estão disponíveis a todos os envolvidos existe maior chance de erros e perdas. Dessa forma, deve-se desenvolver sistemas de produção transparentes, observando a facilidade para controle e melhora das informações, bem como, fazer com que os fluxos de informação do início ao fim do processo sejam claros e de fácil compreensão à todos os envolvidos no fluxo produtivo (STALK, 1989).

O oitavo princípio sugere o controle sobre o processo produtivo completo e não apenas sobre as etapas. Para tanto, este deve ser avaliado sobre duas óticas: a priori o processo deve ser completamente mapeado e após tal mapeamento deve-se determinar uma

autoridade sobre todo o processo. Em processos onde existe uma hierarquia vertical, devem-se ser eleitos profissionais que trabalhem em todas as áreas visando controlar a eficiência e a eficácia do processo como um todo (RUMMLER; BRACHE, 1990).

O nono princípio determina a utilização de sistema de gestão de qualidade total nos sistemas produtivos. Na utilização contínua de sistemas de gestão de qualidade, definem-se meios e formas de controlar e gerenciar processos e também permite a verificação da eficácia das ações tomadas, com foco na satisfação do cliente e na busca da melhoria contínua dos processos (KOSKELA, 1992).

O décimo princípio propõe o equilíbrio entre as melhoras nos processos de conversão e nos fluxos de produção. Cada um desses fatores apresenta um potencial de melhora. Tem-se como regra: quanto maior a complexidade do processo de produção, maior o impacto com a melhoria do fluxo, quanto maior o nível de geração de resíduos inerentes ao processo de produção, mais rentável é a melhoria no fluxo em comparação com a melhoria para o mesmo processo de conversão (KOSKELA, 1992). Dessa maneira, percebe-se que a priori deve-se avaliar a melhora do fluxo, de forma a maximizá-la, para após isso, avaliar a necessidade de modificação dos processos de conversão, visto que, modificações de fluxo tem menor custo e podem gerar resultados mais rápidos (KASIRAMKUMAR INDHU, 2016).

O décimo primeiro princípio defende o uso contínuo de benchmark. Esse processo, é baseado em pesquisa de mercado, o que permite aos gestores compararem produtos, práticas empresariais, serviços ou metodologias usadas pelos rivais, absorvendo algumas características para alçarem um nível de superioridade gerencial ou operacional (ENDEAVOR, [S.d.]). Dada a evolução constante dos sistemas produtivos, as empresas devem sempre estar observando o que há de mais novo e eficiente no mercado para realizar atualização constante da cadeia produtiva e aumento constante da eficiência dos sistemas de produção (JAMIL; FATHI, 2016).

2.3 FERRAMENTAS DO *LEAN CONSTRUCTION*

Conforme já explicitado, o *lean construction* apresenta-se como um método de gestão dos processos produtivos que visa reduzir as atividades que não agregam valor ao produto e avalia os processos construtivos como fluxos contínuos (KOSKELA L., 1993). Para tanto, o método utiliza de uma série de ferramentas que auxiliam a avaliação dos fluxos e a redução das perdas. Dentre estas ferramentas, vale ressaltar: *just in time*, 5s, sistema de

gestão de qualidade total, adoção de sistemas de gestão visual, programação de trabalho em equipes por meio de reuniões gerenciais (*last system planner*) (MINAS, 2016).

As operações *just-in-time* são amplamente implementadas nos sistemas produtivos com o principal objetivo de controlar a pontualidade da produção e entrega de produtos, mantendo ou melhorando a qualidade dos mesmos. Por meio dessa ferramenta, os insumos necessários para as atividades produtivas tornam-se disponíveis apenas quando necessários, ou seja, adota-se o mínimo possível de mão de obra e materiais para a manutenção do fluxo produtivo. Sendo assim, a ferramenta acaba por determinar a execução de tarefas dentro de períodos de tempo muito pequenos e influencia diretamente no cronograma final da linha de produção. Para o uso de tal ferramenta, os fluxos produtivos devem ser mapeados e os insumos necessários levantados, bem como os tempos de produção e espera determinados (XU CHEN, 2016).

A adoção de ferramenta 5S atua diretamente na organização física dos fluxos produtivos. A ferramenta tem origem japonesa e utiliza 5 princípios ou sensores que atuam juntos para organizar o espaço de trabalho, de maneira limpa, eficiente e segura. Os cinco sensores que guiam essa ferramenta são: utilização (*seiri*), organização (*seiton*), limpeza (*seisou*), autodisciplina (*shitsuke*) e padronização (*seiketsu*). O sensor de utilização se baseia na remoção daquilo que não é necessário, limpando o local de trabalho. O sensor de organização baseia-se na preparação dos itens necessários ordenadamente e sistematicamente para que possam ser facilmente utilizados e reorganizados após seu uso. O sensor de limpeza baseia-se na não poluição do ambiente de trabalho com a identificação de irregularidades como sujeira e resíduos. O sensor de padronização se baseia na adoção de padrões para todas as atividades, devendo ressaltar que estes devem ser claros e objetivos. O sensor de autodisciplina visa manter continuamente os procedimentos estabelecidos, auditando os métodos de trabalho, tornando o 5s um hábito da empresa. Apesar de ser uma ferramenta simples, o 5s atua diretamente no aumento da eficiência dos fluxos produtivos, uma vez que consegue identificar gargalos produtivos e atividades que não agregam valor aos produtos (HAREA *et al.*, 2018).

A adoção de um sistema de gestão de qualidade total (SGQT) fundamenta-se na estrutura organizacional das empresas. Um SGQT é baseado em uma série de princípios que são adotados pelas empresas para alcançar seus objetivos e melhorar suas taxas de performance. Estes sistemas realizam a avaliação e compatibilização das necessidades, expectativas e requisitos pessoais e das organizações por meio de esforços constantes em busca da melhoria contínua das empresas. A adoção inicial de tal ferramenta pode gerar complicações nas empresas, visto que, cria uma reestruturação desde os processos mais

simples até a cultura organizacional da empresa. Geralmente a adoção do processo inicia-se com a especificação de uma lista de demandas básicas do cliente onde são definidas as expectativas em relação aos produtos ou serviços, prevendo também suas necessidades futuras. Com o intuito de alcançar tais demandas, é criado um plano de fácil compreensão e execução, de forma que, os objetivos e metas da empresa estejam alinhados com os padrões internacionais determinados pela Organização Internacional de Padronização ISO (MOHAMMED; TIBEK; ENDOT, 2013).

Os sistemas de gestão visual, ou gestão a vista, podem ser também chamados de Kanban. Ele é uma palavra japonesa que significa "cartão" ou tabuleta. São instruções verbais, luzes ou bandeiras ou até sinais de mão que utilizam da visão para transmitir e receber informações. Os benefícios do Kanban na fabricação incluem: limitação do trabalho em andamento, monitoramento e controle dos fluxos produtivos, realização de programação visual, melhoria da utilização da capacidade produtiva e redução no tempo de produção. Nesses sistemas de gerenciamento visuais, informações complexas e que seriam de difícil explanação ficam visualmente representadas em locais visíveis. Observa-se duas vantagens na aplicação de tal ferramenta: as informações são transmitidas de maneira clara e simples, além de estarem visíveis a todos os envolvidos do fluxo produtivo (OVAIS *et al.*, 2018).

As reuniões gerenciais ou sistemas de gerenciamento tardios (*last system planner*) se apresentam como ferramenta poderosa para a adequação real dos fluxos nos sistemas produtivos (CÁRDENAS, ARMINANA, 2009). De acordo com Ballard (2000), o *last system planner* baseia-se no princípio do trabalho reativo sistematizado. Em outras palavras, o planejamento é executado no nível mais baixo possível na hierarquia de planejadores, onde o último planejador, no momento adequado pensa nos fluxos adequados. A filosofia visa garantir que todos os pré-requisitos necessários para realizar um trabalho distinto estão em vigor antes de serem atribuídos a um grupo de trabalho. Para tanto, os envolvidos utilizam o planejamento geral do empreendimento, que indica as datas limites para as execuções das tarefas e a ordem executiva, porém executam adequações constantes para atualizar os fluxos e as necessidades de insumos, reduzindo assim, o tempo de espera. Dessa maneira, o planejamento do empreendimento é atualizado de maneira orgânica com a presença de todos os envolvidos, o que reduz a chance de problemas e gargalos passarem despercebidos das equipes (GAO; LOW, 2014).

Percebe-se que as ferramentas apresentadas atuam diretamente nos fluxos produtivos. Vale ressaltar que estas são apenas algumas das inúmeras ferramentas que a metodologia *lean construction* utiliza para reduzir os tempos de ciclo e as atividades que não agregam

valor ao produto. Estas ferramentas serão utilizadas para buscar aumento na eficiência construtiva em canteiros de obra de unidades residenciais unifamiliares na região de Divinópolis-MG.

2.4 AVALIAÇÃO ENTRE A METODOLOGIA TRADICIONAL E O *LEAN CONSTRUCTION*

O modelo de gerenciamento de projetos tradicional é amplamente aplicado em várias indústrias. Porém existem algumas características específicas da construção civil que devem ser consideradas antes do desenvolvimento de um sistema gerencial. Dentre as várias diferenças vale ressaltar: produção in loco, projetos com peculiaridades próprias e complexidade (KOSKELA, 1992).

Em uma indústria tradicional os produtos são produzidos em um local diferente do local de uso e devido a repetição na operação as companhias otimizam seus processos e padronizam a condução das atividades na manufatura, além de oferecer uma gama fixa e padronizada de produtos. Essas características permitem a adoção de um sistema gerencial tradicional, visto que, não há grandes variabilidades no processo produtivo. Na indústria da construção civil por sua vez, a produção ocorre no mesmo local em que o produto final irá ser entregue, onde vários contribuintes e funcionários de diferentes empresas executam diferentes tarefas ao mesmo tempo em um projeto único que possui suas características próprias (PAEZ *et al.*, 2015).

Essas diferenças produtivas acabam por solicitar diferentes necessidades gerenciais. A partir disso, pode-se perceber diferenças na forma com que cada sistema gerencial atua no processo quanto: a organização do canteiro, ao planejamento, a criação de valor e a geração de resíduos (BAJJOU, CHAFI, EN-NADI, 2017).

Observando essas três óticas, Bajjou, Chafi e En-nadi (2017), modelaram um comparativo entre o método de gerenciamento tradicional e a aplicação do *lean construction*. Quanto a ótica do planejamento, no modelo tradicional, a estrutura hierárquica é rígida, a função de coordenação é centralizada no gerente de obras, os trabalhos são realizados pelas equipes de maneira individualizada, as relações contratuais são baseadas em penalidades por atrasos ou erros. Por meio do *lean construction*, há estrutura hierárquica flexível com participação direta e clara de todos os envolvidos, disseminação das informações e dos problemas para todos os participantes do processo construtivo, utilização de controles de performance, relações contratuais baseadas na solução dos problemas, na previsão de possíveis atrasos e no processo de evolução de aprendizado constante (BAJJOU, CHAFI, EN-NADI, 2017)..

Na ótica de criação de valor e eliminação dos desperdícios o modelo tradicional busca controlar apenas as atividades de conversão e transformação ignorando as atividades que não geram valor, não há cultura organizacional de eliminação de desperdícios e a produção é empurrada. Com o *lean construction* o controle é feito sobre o processo completo, avaliando-se as conversões, os fluxos e o passo a passo das atividades, há a implementação da cultura de eliminação de desperdícios e a produção é puxada (BAJJOU, CHAFI, EN-NADI, 2017).

Sob a ótica de organização do canteiro de obras no modelo tradicional o layout do canteiro de obras é considerado, porém a manutenção de sua organização não é levada em conta, além da não utilização de sinalizações visuais. Por meio do *lean construction*, além do layout do canteiro de obras, é considerada toda otimização do estoque e do armazenamento dos materiais com o uso da metodologia 5S, por exemplo, e há a adoção de gerenciamento visual que favorece a comunicação entre todos os setores do empreendimento (BAJJOU, CHAFI, EN-NADI, 2017).

Por meio da aplicação do *lean construction*, observa-se que a metodologia atua como uma caixa de ferramentas que auxilia o gestor do projeto a eliminar as fontes de perdas e ineficiências nos processos produtivos e administrativos. Dentre as inúmeras fontes de perdas podem se citar: defeitos na produção, produção excessiva, espera para processamento, transporte, estoque, deslocamento e processamento excessivo (FERCOQ; LAMOURI; CARBONE, 2016). O uso dos conceitos da metodologia de produção *lean* permite uma série de melhoras na eficiência produtiva. Exemplos disso são: a utilização de menos recursos, melhora na qualidade, redução de retrabalho, resíduos, consumo de água e energia e custos. Dentre as principais vantagens do aumento na eficiência produtiva, observa-se que há redução nos custos de construção devido ao uso correto dos materiais, menor produção de resíduos nos canteiros de obra e ao planejamento correto do projeto. Além disso, o planejamento adequado dos projetos permite a redução na duração das atividades no canteiro de obras, promovendo qualidade ao projeto (MARHANI; JAAPAR; BARI, 2012). Por um lado, esses fatores provêm uma base para o desenvolvimento sustentável, e por outro lado, as práticas sustentáveis estão alinhadas a esses conceitos e a uma série de outros objetivos de transformação presentes no *lean construction* (NIALL; NICK, 2015).

Percebe-se por meio da avaliação das características do *lean construction* que a metodologia é adequada à realidade da construção civil. A revisão de literatura revela que no *lean construction* existe uma ênfase na redução de desperdícios produtivos (AZIZ; ZEESHAN; ARAYICI, 2018; BELAYUTHAM; GONZÁLEZ; YIU, 2016; KOSKELA, 1992; LI

et al., 2017) bem como o atendimento às novas necessidades dos clientes e da sociedade (LI et al., 2017; NOOR et al., 2018; SARHAN et al., 2017).

Além disso, a metodologia *lean construction* adota um sistema de gerenciamento focado na redução de perdas em todos os aspectos de suas operações (GARZA; REYES, 2015). Nesse processo de gerenciamento, tem-se como objetivo reduzir o desperdício e as perdas, e aumentar o valor agregado do produto, com o foco no cliente por meio de produtos de alta qualidade, produzidos com baixo custo e em pequenos períodos de tempo (IBRAHIM et al., 2010). Ou seja, o *lean construction* é um sistema integrado técnico e social, cujo maior objetivo é eliminar o desperdício por meio de redução e minimização da variação na cadeia de suprimentos e nos fluxos produtivos (FERCOQ; LAMOURI; CARBONE, 2016).

2.5 RAZÃO UNITÁRIA DE PRODUÇÃO

Uma ferramenta utilizada para realizar a aferição da produtividade na construção civil é a razão unitária de produção (RUP). Tal ferramenta, relaciona os homens-hora (Hh) despendidos (entradas do processo) às quantidades de produtos obtidos (quantidade de serviço), ou seja, as saídas do processo (SOUZA, 1996). O cálculo de tal variável é realizado conforme apresentado na equação 1. Tal índice considera a quantidade líquida de serviços realizada e o tempo em que a mão de obra esteve disponível para a realização de tal atividade. Ressalta-se que são considerados em tal variável os tempos produtivos, ou seja, períodos onde agregam-se valor aos produtos e os tempos improdutivos, ou seja, tempos de espera, tempos de transporte (PALIARI; SOUZA, 2008).

$$Rup = \frac{Tempo}{Serviço Produzido}$$

Equação 1 – Razão unitária de produção (RUP). Relação entre o tempo gasto em homens hora e a produção realizada pelos mesmos para determinado serviço.

2.6 ANÁLISE DO ESTADO DA ARTE

Com o intuito de obter-se um levantamento imparcial sobre o estado da arte do uso da metodologia *lean construction* pela construção civil, optou-se por realizar uma revisão sistemática de literatura. Em uma revisão sistemática consideram-se todos os estudos publicados sobre uma determinada questão e as conclusões são tiradas com base nas

evidências disponíveis, sendo assim, uma visão completa sobre o tema pode ser apresentada (GREEN, 2005).

Dentre os vários métodos de revisão sistemática existentes optou-se por adotar o método: ProKnow-C (Knowledge Development Process – Constructivist), desenvolvido pelo Laboratório de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão da Universidade Federal de Santa Catarina (LabMCDA/UFSC) e adotado por diversos pesquisadores (AFONSO *et al.*, 2012; ANSAH SOROOSHIAN, 2017; DOS SANTOS AZEVEDO, 2018; DUTRA *et al.*, 2015; ENSSLIN *et al.*, 2015; ENSSLIN ENSSLIN, 2012; SALLES *et al.*, 2017). O artigo resultante de tal revisão sistemática é apresentado no Apêndice A.

A análise do estado da arte apresentou uma série de artigos que fundamentam as principais características do *lean construction*. Observou-se em tais estudos a apresentação qualitativa das dificuldades para a aplicação do método, as ferramentas mais utilizadas e as vantagens no uso das ferramentas.

O primeiro ponto avaliado foram quais as fontes de perda mais presentes na construção civil de acordo com os artigos estudados e são apresentadas no Quadro 1. Dentre os quatorze artigos avaliados apenas três artigos Abhiram *et al.* (2016), Al-Aomar (2012) e Sarhan *et al.* (2017) retrataram as fontes de perdas na construção civil. As fontes observadas pelos autores foram: perdas de prazos, longos processos de aprovação, atraso para início das atividades, trabalhos de reparação, repartição de equipamentos, períodos de espera de materiais e mão de obra, longo tempo de transportes, defeitos nos trabalhos, materiais danificados, interrupção de trabalhos, retrabalhos, necessidade de esclarecimento de projetos, erros em projetos, erros de execução, movimentos excessivos para o trabalho, manuseio excessivo de materiais, reverificação de trabalhos, medidas de segurança excessivas, trabalhos ineficientes, tempo de treinamento excessivo, supervisão excessiva, trabalhos incompletos, excesso de estoque, uso excessivo de equipamentos, extravio de materiais, uso excessivo de espaço, recursos superqualificados, problemas no fluxo de caixa e erros de planejamento.

Apesar de serem apresentadas inúmeras fontes de perdas nos artigos de Abhiram *et al.* (2016), Al-Aomar (2012) e Sarhan *et al.* (2017), percebe-se que nos três estudos há a recorrência de três fontes de perdas: (i) longos períodos de espera tanto da mão de obra quanto de materiais; (ii) execução de trabalhos ineficientes e; (iii) a necessidade de retrabalhos. Tais fontes de perda são oriundas de diferentes pontos de ineficiência produtiva. O item (i) pode ser enquadrado de acordo com Formoso *et al.* (1997), como perda por: espera, transporte e movimento. Estas perdas estão vinculadas às atividades que não agregam valor ao produto. Por outro lado, as perdas descritas em (ii) e (iii) podem ser

classificadas como perdas por processamento ou pela produção de produtos defeituosos. Tais perdas têm origem na execução de processos fora do padrão proposto pelos procedimentos operacionais (Formoso et al., 1997).

Quadro 1 - Fontes de perdas na construção civil

Fontes de perdas	Al-Aomar, 2012	Abhiram et al., 2016	Sarhan et al., 2017
Períodos de espera de materiais / mão de obra	X	X	X
Retrabalhos	X	X	X
Trabalhos Ineficientes	X	X	X
Interrupção de trabalhos	X	X	
Defeitos nos trabalhos	X		X
Excesso de estoque	X		X
Longo tempo de transporte	X		X
Movimentos excessivos para o trabalho	X		X
Atraso para início das atividades	X		
Erros de execução	X		
Erros em projetos	X		
Longos processos de aprovação	X		
Manuseio excessivo de materiais	X		
Materiais danificados	X		
Medidas de segurança Excessivas	X		
Necessidade de esclarecimento de projetos	X		
Perda de prazos	X		
Recursos Superqualificados	X		
Repartição de Equipamentos	X		
Reverificação de trabalhos	X		
Roubo	X		
Supervisão Excessiva	X		
Tempo de treinamento excessivo	X		
Trabalhos de reparação	X		
Trabalhos incompletos	X		
Uso excessivo de equipamentos	X		
Uso excessivo de espaço	X		
Erros nos planejamentos		X	
Furo no fluxo de Caixa		X	

Fonte: o autor.

A aplicação das ferramentas do *lean construction* aparece nesse contexto como uma forma de auxiliar a redução de tais perdas. Porém existe uma série de dificuldades e barreiras que podem comprometer a aplicação de tais ferramentas.

De acordo com Alinaitwe (2009); Bajjou & Chafi (2018); Li et al. (2017); Small et al. (2017), são barreiras para a implementação das ferramentas do *lean construction*: a falta de conhecimentos da metodologia por parte da gerencia e equipe, ausência de acesso à informação quando necessárias, falta de infraestrutura em transporte e comunicação, baixa

comunicação entre equipes, cadeia de suprimentos ineficiente, instabilidade dos custos, metas diferenciadas entre as equipes, ausência de projetos detalhados, ausência de gestão participativa entre as equipes, planejamento ineficiente, falta de comprometimento da alta direção, falta de recursos financeiros e resistência às mudanças por parte da equipe.

Observa-se que dentre os artigos avaliados que 4 retratam as barreiras encontradas para a aplicação das ferramentas do *lean construction*. Tais barreiras são apresentadas no Quadro 2. Dentre tais artigos, observa-se uma diferença entre o número de barreiras elencadas: nove para Alinaitwe (2009) ; cinco para Bajjou & Chafi (2018); quatro para Li et al. (2017); e por fim quatro em Small et al. (2017). Ressalta-se que dentre tais barreiras, as mais citadas entre os quatro artigos são: a baixa comunicação entre as equipes e a falta de conhecimento sobre as ferramentas do *lean construction* por parte da gerência e equipe.

De acordo com o apresentado nos artigos de Alinaitwe (2009); Li et al. (2017); Small et al. (2017), a baixa comunicação entre as equipes é uma barreira derivada de cadeias produtivas onde há uma hierarquia verticalizada, ou seja, os trabalhadores tem uma função limitada e não possuem autonomia de comunicação com outros setores, ficando limitados à apenas a realização de suas funções.

Quadro 2 - Barreiras para a implementação do *lean construction*

<i>Barreiras para a implementação do lean construction</i>	Alinaitwe, 2009	S. Li, Wu, Zhou, & Liu, 2017	Small, Hamouri, & Hamouri, 2017	M.S. Bajjou & Chafi, 2018
Baixa comunicação entre equipes	x	x	x	
Falta de conhecimento das ferramentas por parte da gerência e equipe		x	x	x
Cadeia de Suprimentos ineficiente	x	x		
Falta de infraestrutura em transporte e comunicação	x	x		
Ausência de Projetos Detalhados	x		x	
Instabilidade dos custos	x		x	
Planejamento Ineficiente	x			x
Ausência de acesso à informação quando necessárias	x			
Ausência de Gestão Participativa entre as Equipes	x			
Metas diferenciadas entre as equipes	x			
Falta de comprometimento da alta direção				x
Falta de recursos financeiros				x
Resistência às mudanças por parte da equipe				x

Fonte: o autor.

Por outro lado, Bajjou & Chafi (2018); Li et al. (2017); Small et al. (2017), apresentam a falta de conhecimento das ferramentas do *lean construction* por parte da gerência e equipe como barreira para implementação de tais ferramentas e justificam isso pela falta de

sistemas de capacitação e treinamento das equipes. Observa-se que tais barreiras poderiam ser mitigadas por meio de treinamentos sobre o uso das ferramentas do *lean construction* e por modificações nos sistemas hierárquicos das empresas.

Por meio de tal observação, foram avaliadas as ferramentas do *lean construction* utilizadas nos estudos analisados. Tais ferramentas e os artigos que as referenciaram são apresentados no Quadro 3. O levantamento das ferramentas do *lean construction* é evidenciado em nove artigos do portfólio, apresentando ferramentas que atuam dentre as mais variadas etapas do processo construtivo, desde a fase de desenvolvimento do projeto até a entrega e uso do empreendimento.

Quadro 3 – Ferramentas do *lean construction* observadas nos estudos avaliados

Ferramentas do <i>lean construction</i> para melhora do processo construtivo	Al-Aomar, 2012	Ogunbiyi et al., 2013	S. Li, Wu, Zhou, & Liu, 2017	Abhiram et al., 2016	Dixit et al., 2017	Sarhan et al., 2017	Small, Hamouri, & Hamouri, 2017	M.A. Marhani et al., 2018	M.S. Bajjou & Chafi, 2018
Sistema de Qualidade Total	x	x	x	x		x	x	x	x
Programação de trabalho em equipe/ Conferencias Gerenciais (<i>Last Planner System</i>)	x	x	x		x	x	x	x	
Recursos Visuais	x	x	x		x	x		x	x
5s	x		x			x		x	
<i>Just in Time</i>	x	x	x			x			
Padronização de procedimentos	x			x				x	x
Engenharia Concorrente			x			x		x	
Mapeamento do fluxo de Valor	x	x							x
Trabalho em Equipe	x						x	x	
BIM / Ferramentas Digitais						x		x	
Cadeia de suprimentos racionalizada	x							x	
Design Enxuto	x					x			
Pequenos Pacotes de Trabalho	x			x					
Pré fabricação						x			x
Seis sigma					x	x			
6s			x						
<i>Cross training</i>	x								
Manutenção Preventiva						x			
Planejamento Futuro	x								

Fonte: o autor.

No portfólio há registro da aplicação das seguintes ferramentas do *lean construction*: mapeamento do fluxo de valor, just in time, 5S, 6S, padronização de procedimentos,

sistema de qualidade total, cross training, recursos visuais, trabalho em equipe, design enxuto, cadeia de suprimentos racionalizada, pequenos pacotes de trabalho, planejamento futuro, programação de trabalho em equipe/conferências gerenciais (*last planner system*), engenharia concorrente, seis sigma, manutenção preventiva, BIM/ferramentas digitais e pré fabricação.

Observa-se que o número de ferramentas adotadas é grande e disperso nas mais diversas etapas de controle e gestão. Algumas das ferramentas apresentadas são adequadas à fase de projeto do empreendimento, enquanto outras, mais adequadas ao dia a dia do canteiro de obras, o que corrobora a grande versatilidade da aplicação das ferramentas do *lean construction* na construção civil.

As ferramentas do *lean construction* mais citadas no portfólio de artigos são: (i) adoção de sistema de qualidade total; (ii) uso de recursos visuais; (iii) aplicação de programação de trabalho em equipe (*last planner system*); (iv) padronização dos processos; (v) just in time e; (vi) 5S. O uso de tais ferramentas pode propiciar uma série de vantagens à indústria da construção civil.

Com a observação das ferramentas do *lean construction* adotadas visou-se identificar quais as vantagens da aplicação de ferramentas do *lean construction* existiriam na indústria da Construção Civil. As vantagens obtidas nos estudos são apresentadas no Quadro 4.

A análise dos artigos de Alinaitwe (2009); Dixit et al. (2017); Ogunbiyi et al. (2013); Sarhan et al. (2017), evidenciou as seguintes vantagens: canteiro de obra organizado, existência de projetos detalhados, sistema de gerenciamento participativo entre as equipes, padronização dos processos, qualificação da mão de obra, comunicação eficiente entre as equipes, compreensão das necessidades do cliente, melhora na imagem corporativa, aumento da produtividade, redução do desperdício, redução no consumo de energia, redução dos custos, eliminação das atividades que não geram valor agregado, aumento na segurança do canteiro de obras, aumento na qualidade do produto e aumento na satisfação dos envolvidos no processo construtivo e na cadeia de suprimentos.

Todas essas vantagens podem ser agrupadas como formas de aumento da eficiência do processo produtivo. Em um mercado tão competitivo como o de hoje e com necessidades cada vez maiores de construções sustentáveis, a execução de empreendimentos eficientes agrega valor ao produto e atende às necessidades do mercado (HERMES, 2015). Além disso, a consequência do aumento da eficiência no processo construtivo gera a possibilidade de maiores ganhos comerciais, seja por aumento do valor agregado do produto, seja por redução nos custos produtivos.

Quadro 4 – Vantagens na adoção das ferramentas do *lean construction*.

<i>Vantagens na adoção das ferramentas da metodologia lean</i>	Alinaitwe, 2009	Ogunbiyi et al., 2013	Dixit et al., 2017	Sarhan et al., 2017
Comunicação eficiente entre as equipes	x	x		
Sistema de gerenciamento participativo entre as equipes	x	x		
Redução Consumo de Energia		x	x	
Redução de Desperdício		x	x	
Aumento na segurança nos canteiros de obras			x	x
Compreensão das necessidades dos clientes	x			x
Aumento da produtividade		x		x
Canteiro de obras organizado	x			
Existência de projetos detalhados	x			
Padronização dos processos	x			
Qualificação de mão de obra	x			
Melhora da imagem Corporativa		x		
Redução nos custos		x		
Eliminação das atividade que não geram valor agregado			x	
Aumento na qualidade do produto				x
Aumento na satisfação dos envolvidos no processo construtivo e na cadeia de suprimentos				x

Fonte: o autor.

Observa-se por outro lado a carência de estudos que quantifiquem os ganhos obtidos com a aplicação de ferramentas do *lean construction*, seja em termos de produtividade ou em relação ao consumo de insumos na construção civil. Os artigos que compõem o portfólio, avaliam qualitativamente a aplicação das ferramentas do *lean construction*, ou seja, apenas apresentam quais as ferramentas mais utilizadas em cada país, as vantagens obtidas com a utilização das ferramentas do *lean construction* e as barreiras encontradas para implementação das mesmas. Porém, deve ser ressaltado que raros são os casos onde são encontrados na literatura estudos que avaliem quantitativamente as melhoras obtidas nos índices de produtividade mensurados a partir da adoção das ferramentas do *lean*

construction, muito menos comparações estatísticas relacionando-as aos métodos de gestão tradicional.

Dessa maneira, o estado da arte apresentou uma base teórica para desenvolvimento de uma pesquisa quantitativa sobre a aplicação das ferramentas do *lean construction*. Conforme detalhado no estado da arte, o maior empecilho para a implementação da construção enxuta é a falta de conhecimento sobre as ferramentas do *lean construction* por todos os envolvidos no processo construtivo. Por outro lado, quando aplicadas, tais ferramentas geram uma série de vantagens nos resultados dos empreendimentos, que podem ser sintetizadas pelo aumento da eficiência produtiva, seja ela por redução no uso de insumos ou por aumento de produtividade. Sendo assim, o estudo das fontes de perda e das ferramentas do *lean construction* que podem ser utilizadas se destacam como itens de análise para quantificar a performance da aplicação do *lean construction* nos canteiros de obra em termos de produtividade, consumo de insumos e geração de resíduos.

Além disso, no estado da arte são apresentadas como as principais fontes de perda: períodos longos de espera de insumos e de mão de obra, defeitos nos trabalhos e retrabalhos, longos tempos de transporte, excesso de estoque e execuções ineficientes. Parametrizando essas perdas, percebe-se que as perdas são geradas na locação indevida de materiais ou de pessoas, falhas no controle de estoque e suprimentos e equipe técnica com baixo nível de treinamento. Sendo assim, propõe-se adotar ferramentas que atuem diretamente para mitigar essas perdas.

As ferramentas do *lean construction* mais citadas como efetivas no estado da arte são: sistema de gestão de qualidade total, adoção de recursos visuais e programações de trabalho em equipe. Essas ferramentas são utilizadas na presente pesquisa, como base para a adoção do *lean construction* nos canteiros de obras. Ressalta-se que em um canteiro de obras existem inúmeras atividades e inúmeras características como: infraestrutura, disponibilidade de mão de obra e de insumos que o definem. Desta forma, para realizar um estudo comparativo dos índices de produtividade, dos insumos gastos e dos resíduos gerados, entre a aplicação das ferramentas do *lean construction* e a adoção do sistema de gestão tradicional esses parâmetros devem ser os mesmos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

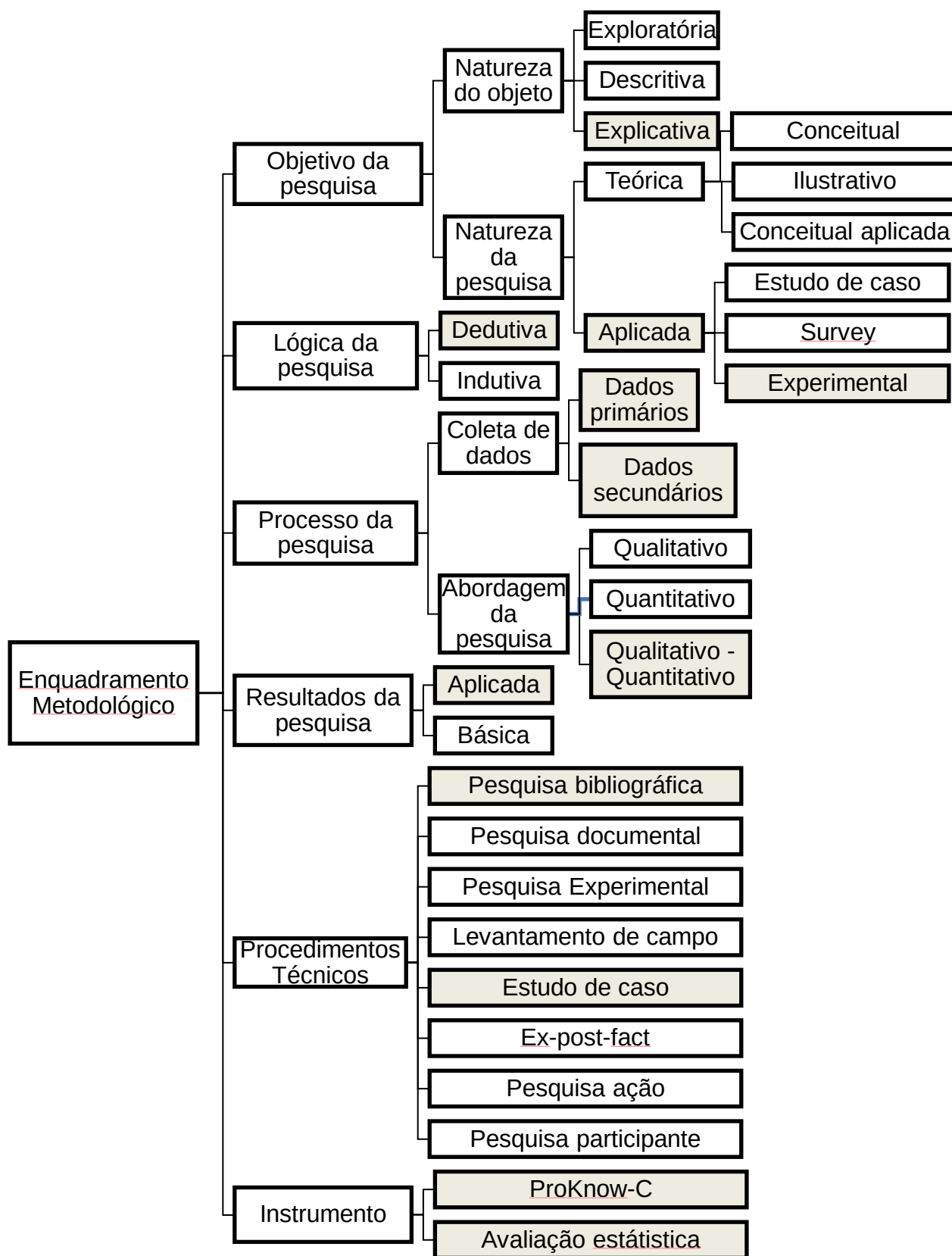
Conforme apresentado, o trabalho objetiva realizar uma abordagem de pesquisa quantitativa do ganho de performance que o *lean construction* pode gerar no desenvolvimento de empreendimentos residenciais de pequeno porte.

3.1 MÉTODOS DE ABORDAGEM:

Classifica-se a pesquisa quanto a sua natureza como uma pesquisa aplicada experimental, visto que, o estudo propõe gerar conhecimentos práticos e aplicáveis quanto ao uso das ferramentas do *lean construction*. Quanto aos objetivos tem-se uma pesquisa explicativa, visto que, o estudo realizará a obtenção de dados experimentais para atender seus objetivos. A lógica de pesquisa utilizada é a dedutiva, onde os dados e premissas irão gerar respostas que podem ser reproduzidas em mesmo cenário. O processo da pesquisa se dá por meio de dados primários coletados durante o estudo de caso e dados secundários que são gerados a partir deles (GIL, 2002).

A abordagem da pesquisa é qualitativa nos quesitos referentes à análise do estado da arte e quantitativa na avaliação dos resultados obtidos. Tais resultados são classificados como aplicados. Observando os procedimentos, a pesquisa é classificada como experimental e um estudo de caso. As duas classificações se enquadram na realidade da pesquisa, pois utiliza de variáveis palpáveis e controláveis em um ambiente pré-definido, permitindo avaliação profunda e detalhada de parâmetros pré-determinados. Para atingir os objetivos da pesquisa serão utilizados dois instrumentos: Proknow-C, na obtenção do estado da arte, e avaliação estatística, para avaliação dos dados obtidos no estudo de caso (MARCONI; LAKATOS, 2003). De maneira a facilitar a classificação da pesquisa, tais classificações são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Enquadramento Metodológico



Fonte: O autor.

3.2 MÉTODOS DE PROCEDIMENTOS:

O texto a seguir descreve as etapas desenvolvidas nesta pesquisa.

1. Identificação das ferramentas do *lean construction*: por meio de uma metodologia de revisão sistemática de literatura, identificar quais as ferramentas do *lean construction* são mais utilizadas no contexto atual da indústria da construção civil. Utilizar as ferramentas mais citadas dentre os estudos como referências para a adoção do *lean construction*.
2. Definição dos critérios para escolha do objeto do estudo de caso: o objeto a ser escolhido deve ser de pequeno porte, que permita utilização de baixo efetivo para sua execução e possa ser concluído dentro de um curto espaço de tempo. O projeto geral deve ter replicações, de forma a permitir que a mesma equipe execute a mesma edificação. Para o projeto escolhido especificar: número de cômodos, área construída, método construtivo adotado e tipologia do empreendimento, de forma que, possa-se realizar posterior comparação entre as edificações e validar a real eficácia da aplicação das ferramentas do *lean construction*.
3. Verificação das condições do entorno: verificar a disponibilidade de mão de obra e insumos no local do objeto de estudo. Verificar disponibilidade de sistemas de infraestrutura básica (água, esgoto e energia). Verificar a disponibilidade de recebimento dos insumos necessários para a produção do empreendimento.
4. Seleção de equipe para o experimento: Critérios de seleção: seleção de mão de obra não terceirizada com comprovação de experiência (pelo menos 1 ano) de serviço em sua função (encarregado, pedreiro e servente). Garantir que cada colaborador (mão de obra) tenha conhecimento detalhado de sua função. Garantir que tais colaboradores constituam toda a mão de obra necessária para a edificação.
5. Definição das atividades a serem mensuradas: Como não existem estudos detalhando quais atividades devem ser avaliadas e quais parâmetros devem ser utilizados, selecionar as atividades de maior representatividade na curva ABC da edificação e que se encontram-se no caminho crítico da obra, além de adotar como parâmetro comparativo de produtividade a utilização da razão unitária de produção.
6. Definição das formas de mensuração: As atividades devem ser mensuradas conforme as unidades prescritas no TCPO.
7. Coleta de dados: Realizar a coleta de dados sob a supervisão de profissional qualificado com experiência em gestão de obras (gestor de obras). As atividades devem ser mensuradas diariamente ou de acordo com as características da atividade.

8. Execução e mensuração do primeiro empreendimento: A primeira edificação deve ser executada segundo o sistema tradicional de gerenciamento. As atividades escolhidas de acordo com o item 5 devem ser mensuradas conforme descrito no item anterior (item 7).
9. Treinamento de equipes: Findo a execução do primeiro empreendimento, as equipes envolvidas devem ser treinadas nos conceitos do *lean construction*, em linhas teóricas, práticas e com avaliação e reciclagem contínua da equipe.
10. Estudo de layout: Executar o estudo de layout e identificar as alterações (layout de suprimentos e de circulação de cada atividade) a serem aplicadas na execução da segunda edificação.
11. Execução e mensuração da segunda obra: A segunda edificação deve ser executada aplicando as ferramentas do *lean construction*. As atividades escolhidas de acordo com o item 5 devem ser mensuradas conforme descrito no item 7.
12. Avaliação estatística (análise de variância, teste de comparação de média – Turkey) dos resultados obtidos: a partir dos resultados obtidos nas duas execuções calcular as RUP's (razões unitárias de produção), quantitativos de insumos utilizados e de resíduos gerados, parâmetros obtidos nas medições e analisar estatisticamente por meio de testes de comparação múltiplos.

4 DESENVOLVIMENTO

Foram adotados os mesmos numerais do método para facilitar o link entre a etapa do método e o desenvolvimento da etapa.

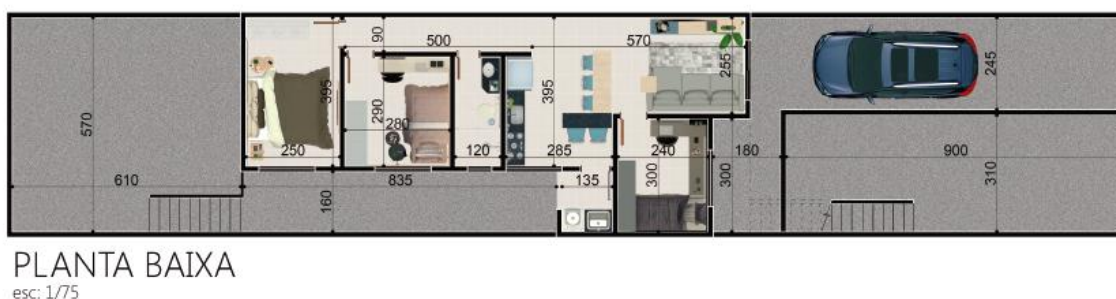
1. Ferramentas do *lean construction*: foi adotado o método de revisão sistemático Proknow-C e por meio de tal método um portfólio de artigos que compõem o estado da arte sobre o tema foi levantado. Por meio de tal portfólio, já citado no item 2.6 dessa pesquisa, as ferramentas do *lean construction* mais citadas são: (i) adoção de sistema de qualidade total; (ii) uso de recursos visuais; (iii) aplicação de programação de trabalho em equipe (*last planner system*); (iv) padronização dos processos. Sendo assim, tais ferramentas foram utilizadas pela equipe para a execução da edificação que adotou as ferramentas do *lean construction*.
2. Objeto de estudo: conforme os critérios definidos para a escolha do objeto de estudo o empreendimento que foi escolhido e avaliado é de pequeno porte e constituído por 4 habitações econômicas de 3 quartos, sala, cozinha, área de serviço e banheiro, com 62,5m² cada, distribuídas em 2 conjuntos habitacionais conforme Figuras 1 e 2. Tal edificação foi escolhida por permitir replicações e por poder ser concluída em um curto espaço de tempo. A composição estrutural adotada foi de concreto armado com fôrmas de madeira, alvenarias de vedação, revestimentos internos e externos em argamassa.
3. Verificação das condições do entorno: conforme o proposto para a verificação das condições de entorno, o local da edificação foi vistoriado pelo engenheiro responsável pela edificação e foi constatado que: existe infraestrutura completa nos lotes (há: água, energia, esgoto e pavimentação) e o acesso para o recebimento de materiais é irrestrito. Também foram identificados colaboradores disponíveis para a realização das atividades.
4. Equipe para o experimento: conforme os critérios definidos para a escolha da equipe, a equipe selecionada é integrada por mão de obra não terceirizada com comprovação de experiência (pelo menos 1 ano) de serviço em sua função sendo composta por 1 encarregado, 2 pedreiros e 2 serventes. Foram selecionados funcionários da empresa com experiência prévia (na própria empresa) na execução de edificações populares. A equipe compreende o total de funcionários empregados na execução de uma unidade padrão deste tipo de edificação.

Figura 1 - Fachada do empreendimento modelo



Fonte: O autor.

Figura 2 - Planta baixa do empreendimento modelo



Fonte: O autor.

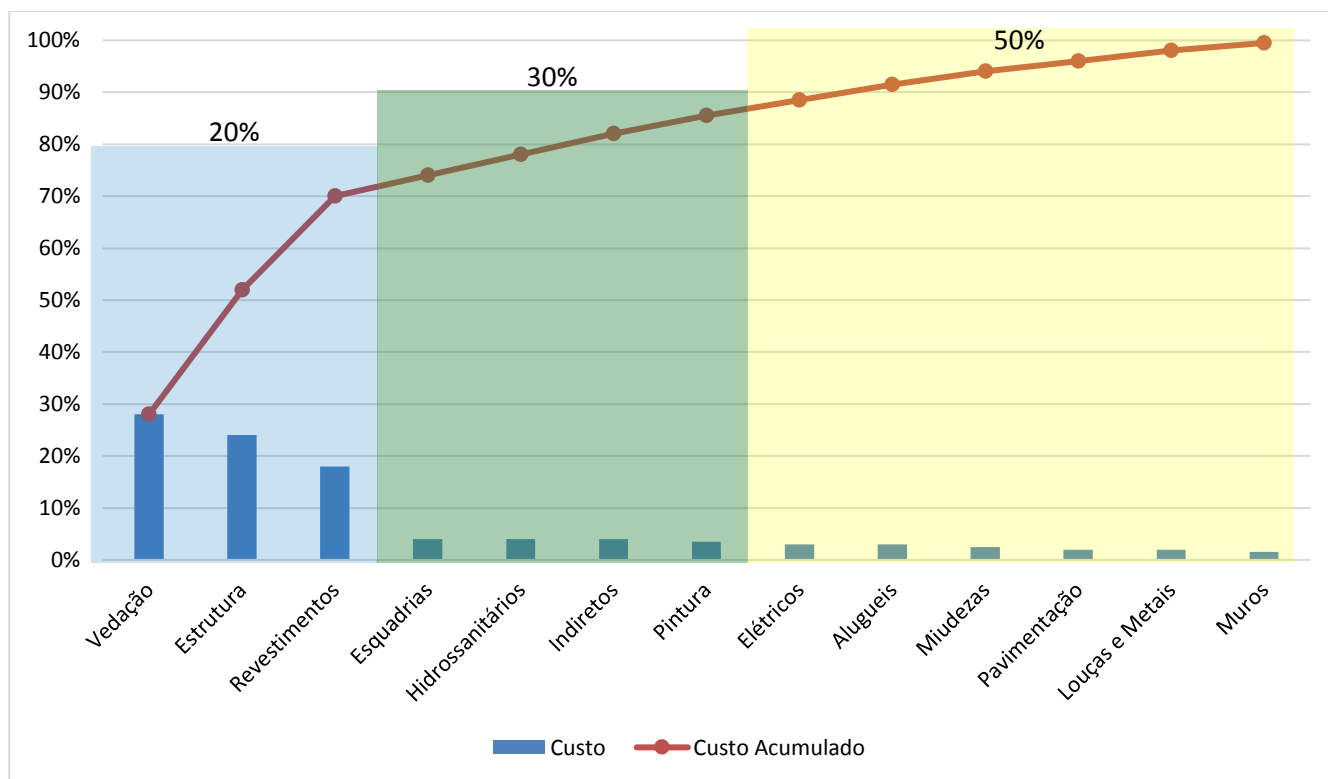
5. Atividades mensuradas: A curva ABC relativa ao objeto de estudo escolhido é apresentada na Figura 3. Observa-se na Figura 3 que os ítems: vedação, estrutura e revestimentos correspondem a cerca de 73% dos custos do empreendimento, sendo os mais relevantes. Tais itens são subdivididos nas seguintes atividades:

- Vedação: elevação de alvenaria, chapisco interno, chapisco externo, emboço/reboco interno e emboço/reboco externo;
- Estrutura: fôrmas, armação e concretagem;
- Revestimentos: assentamento de revestimentos e assentamento de pisos;

Conforme descrito na metodologia, foram selecionadas as atividades de maior representatividade na curva ABC da edificação e que se encontram-se no caminho crítico da obra. As atividades que foram avaliadas são: fôrmas, elevação de alvenaria, armação, chapisco interno e externo, emboço/reboco interno e externo, assentamento de revestimentos e assentamento de pisos. Elas compreendem as atividades de maior custo e estão no caminho crítico de execução da obra.

Pode ser observado que a atividade de concretagem não foi considerada para a presente análise. Tal atividade foi realizada por empresa especializada com fornecimento de mão de obra e material. Como não seria possível controlar os insumos e a produtividade da empresa terceirizada, a atividade de concretagem não foi avaliada.

Figura 3 - Curva ABC do empreendimento – Em azul, itens de maior representatividade nos custos do empreendimento



Fonte: O autor

6. Forma de mensuração: conforme o proposto para a mensuração das atividades, as unidades de medida adotadas para as atividades seguiram as que são propostas no TCPO. Deve ser observado, porém que cada atividade avaliada possui uma peculiaridade quanto às formas de medição. Sendo assim, cada uma delas é detalhada abaixo:

6.1. Elevação de alvenaria: foi avaliada a produtividade por metro quadrado produzido.

A coleta de dados da atividade foi realizada ao final de cada dia, relativa a cada dupla.

6.2. Fôrmas: foi avaliada a produtividade por pavimento em relação à área de fôrmas produzidas. A coleta de dados da atividade foi realizada após a conclusão da atividade, e não diariamente.

6.3. Armação: foi avaliada a produtividade por pavimento em relação à massa de aço produzido. A coleta de dados da atividade foi realizada após a conclusão da atividade.

- 6.4. Chapisco interno e externo: foi avaliada a produtividade por metro quadrado produzido. A coleta de dados da atividade foi realizada ao final de cada dia, relativa a cada dupla.
- 6.5. Emboço e reboco interno e externo: foi avaliada a produtividade por metro quadrado produzido. A coleta de dados da atividade foi realizada ao final de cada dia, relativa a cada dupla.
- 6.6. Assentamento de revestimentos e assentamento de pisos: foi avaliada a produtividade por metro quadrado produzido. A coleta de dados da atividade foi realizada ao final de cada dia, relativa a cada dupla. Ao final da atividade foi levantado o tempo total de produção, visto que, em dias de produção dos recortes há pouca produtividade.
7. Coleta de dados: conforme definido no método, a coleta dos dados foi realizada sob a supervisão do gestor de obras e os dados coletados foram os seguintes:
- 7.1. Insumos gastos para realização das atividades:
- 7.1.1. Elevação de alvenaria: foram levantados os quantitativos de tijolos, cimento, areia e cal utilizados por edificação.
 - 7.1.2. Fôrmas: foram levantados os quantitativos de tábuas, madeirites, pontaletes e pregos utilizados por edificação.
 - 7.1.3. Armação: foram levantados os quantitativos de aço utilizado por edificação.
 - 7.1.4. Chapisco: foram levantados os quantitativos cimento e areia utilizados por edificação.
 - 7.1.5. Emboço e reboco interno e externo: foram levantados os quantitativos de cimento, areia e cal utilizados por edificação.
 - 7.1.6. Assentamento de revestimentos e assentamento de pisos: foram levantados os quantitativos de revestimentos e pisos e argamassa utilizados por edificação.
- 7.2. Produtividade das atividades (RUP): Foram coletadas sob a supervisão do gestor da obra as razões unitárias de produção para comparar a evolução das atividades.
- 7.2.1. Elevação de alvenaria: foi avaliado o tempo médio para a produção de 1 metro quadrado de alvenaria.
 - 7.2.2. Fôrmas: foi avaliado o tempo médio para a produção de 1 metro quadrado de fôrma.
 - 7.2.3. Armação: foi avaliado o tempo médio para a produção de 1 Kg de armação.
 - 7.2.4. Chapisco interno e externo: foi avaliado o tempo médio para a produção de 1 metro quadrado de chapisco.

7.2.5. Emboço e reboco interno e externo: foi avaliado o tempo médio para a produção de 1 metro quadrado de emboço e reboco.

7.2.6. Assentamento de revestimentos e assentamento de pisos: foi avaliado o tempo médio para a produção de 1 metro quadrado de assentamento de pisos e revestimentos.

Todos os índices coletados foram apresentados no seguinte formato: metodologia adotada, equipe avaliada, produção, dia da semana, atividade, RUP, conforme modelo apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 - Modelo de Tabela para coleta dos dados in loco.

Metodologia	Equipe	Produção	Dia da semana	Atividade	RUP
Tradicional	b	2.00	sábado	Alvenaria	4.0000
Lean	a	5.00	sábado	Alvenaria	2.6667

Como metodologia tem-se a tradicional e o *lean*, equipes são “a” ou “b”, produção é a quantidade produzida, dia da semana, apresentação da atividade e RUP conforme explicado nos itens de 7.2.1 a 7.2.6.

Fonte: O autor.

7.3. Resíduos gerados no empreendimento (volume): o parâmetro foi obtido por meio da mensuração da quantidade de caçambas coletadas durante a execução das atividades previstas para a construção da unidade habitacional. Cada caçamba possui capacidade para armazenar 5m³ de entulho, sendo assim, foi contabilizado como resíduo gerado o produto entre a quantidade de caçambas e o volume de cada uma. A coleta de tais informações foi feita sob supervisão do gestor da obra ao final de cada etapa executiva do empreendimento.

8. Execução e mensuração do primeiro empreendimento: conforme o definido no método, foram coletados os insumos gastos para a execução das atividades, as razões unitárias de produção e os resíduos gerados aplicando o sistema tradicional de gerenciamento para cada uma das atividades: fôrmas, elevação de alvenaria, armação, chapisco, emboço/reboco e assentamento de revestimentos/ pisos. Todas as atividades, formas de mensuração, índices e insumos são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 - Apresentação das atividades, das formas de mensuração e dos dados coletados nos empreendimentos

Atividade	Forma de Mensuração	Dados Coletados	
		Produtividade (RUP)	Insumos coletados
Elevação de Alvenarias	$\frac{\text{Tempo}}{\text{Área produzida diária}}$	Tempo médio para a produção de 1 m ² de alvenaria	Tijolos, cimento, areia e cal
Fôrmas	$\frac{\text{Tempo}}{\text{Área de forma pvto}}$	Tempo médio para a produção de 1 m ² de fôrma	Tábuas, maderites, pontaletes e pregos
Armação	$\frac{\text{Tempo}}{\text{kg produzido pvto}}$	Tempo médio para a produção de 1 kg de armação	Aço
Chapisco	$\frac{\text{Tempo}}{\text{Área produzida diária}}$	Tempo médio para a produção de 1 m ² de chapisco	Cimento e areia
Emboço / Reboco	$\frac{\text{Tempo}}{\text{Área produzida diária}}$	Tempo médio para a produção de 1 m ² de emboço/reboco	Cimento, areia e cal
Assentamento de revestimentos / pisos	$\frac{\text{Tempo}}{\text{Área produzida diária}}$	Tempo médio para a produção de 1 m ² de assentamento	Cerâmicas e argamassa
Resíduos	<i>Número Caçambas x Peso Médio</i>		Número de caçambas

Fonte: o autor.

9. Treinamento de equipes: após a execução do primeiro empreendimento, foram executados pela equipe de engenharia da empresa treinamentos teóricos (palestras, aulas e provas) e práticos (avaliações nas obras) de maneira a comprovar o aprendizado da equipe sobre as ferramentas do *lean construction*. Os treinamentos foram direcionados para:

9.1.A aplicação do sistema de gestão de qualidade total no empreendimento: foi adotado no empreendimento o sistema de gestão de qualidade total. Para tal, foram desenvolvidos procedimentos operacionais padrões para as atividades avaliadas, bem como, fichas de verificação dos serviços. Ressalta-se que todos os procedimentos operacionais já existentes foram revisados com a finalidade de reduzir os tempos das atividades que não agregavam valor ao produto como: espera, transporte e retrabalhos.

9.2. Adoção de recursos visuais no empreendimento: quanto aos recursos visuais, foi implementado na obra placas indicativas, Quadros com as atividades, datas e responsáveis e adoção de gestão à vista.

9.3. Programação de trabalho em equipe: do ponto de vista do planejamento, além do cronograma tradicional foram adotadas reuniões semanais com toda a equipe para alinhar as atividades da semana corrente e suprimentos e metas para a semana posterior.

A equipe recebeu treinamento teórico sobre os novos processos operacionais a serem adotados pela empresa, baseados nas ferramentas de adoção de sistema de qualidade total, adoção de recursos visuais e programação de trabalho em equipe, citadas acima. Após o treinamento, todos os colaboradores envolvidos no experimento foram avaliados sobre os conhecimentos abordados no treinamento e obtiveram uma taxa de acerto acima de 80%, comprovando o aprendizado. Além disso, todos os colaboradores apresentaram em campo capacidade técnica de executar os serviços de acordo com os novos procedimentos operacionais.

10. Estudo de layout: Após a escolha das atividades, mensuração no primeiro empreendimento e treinamento da equipe, foi realizado o levantamento do layout de suprimentos e de circulação de cada atividade. Foram levantados os locais de estocagem, sua distância da edificação, o tempo de deslocamento para uso dos materiais e qual a circulação existente no canteiro de obras durante a atividade. Com o detalhamento desses fatores para cada atividade, foi adotada a redução dos tempos das atividades intermediárias que não agregam valor, ou seja, redução nos tempos de movimentação dos insumos e da mão de obra, por meio da adequação do layout de obra.

11. Execução e mensuração da segunda obra: conforme proposto no método, após a adequação do layout e treinamento da equipe, foram coletados os insumos gastos para a execução das atividades, as razões unitárias de produção e os resíduos gerados aplicando as ferramentas do *lean construction* (sistema de qualidade total, adoção de recursos visuais e programação de trabalho em equipe) para cada uma das atividades: fôrmas, elevação de alvenaria, armação, chapisco, emboço/reboco e assentamento de revestimentos/ pisos. Todas as atividades, formas de mensuração, índices e insumos são apresentados no Quadro 7 e a edificação possui as mesmas características da edificação avaliada no item 8.

12. Avaliação estatística (análise de variância, teste de comparação de média – Turkey) dos resultados obtidos: conforme o proposto para a avaliação estatística foram comparados

às RUP's, os insumos gastos e os resíduos gerados obtidos nas duas medições realizadas, nos itens 8 e 11, por meio do software Rstudio, observando se há ou não variância significativa entre os resultados obtidos antes e após a implementação das ferramentas do *lean construction*.

Com o objetivo de padronizar as avaliações e as rotinas no software, a avaliação dos dados de todas as atividades foi realizada na seguinte sequência:

- ✓ importação dos dados para o software;
- ✓ teste de normalidade para os dados das amostras;
- ✓ realização da análise de variância das RUP's ("prd") em relação às variáveis metodologia ("met") e equipe ("eqp");
- ✓ execução do teste de Tukey para avaliar a metodologia executiva adotada;
- ✓ apresentação das médias e medianas nessa ordem;
- ✓ plotagem gráfica por meio de boxplot para avaliar a diferença entre o sistema de gestão tradicional, nomeado de "trad" e a adoção de ferramentas do *lean construction*, nomeado de "*lean*";

A partir da análise de variância buscou-se identificar quais os fatores que influenciam na produtividade e verificar se existe diferença significativa entre os fatores. No trabalho os fatores avaliados em todas as simulações são: equipes e metodologia. Realizou-se também o teste de Tukey para a variável metodologia, considerando um nível de significância de 5%. Com isso, permite-se efetuar uma avaliação conclusiva da melhora ou não na produção com a aplicação das ferramentas do *lean construction*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As razões unitárias de produção, os insumos e os resíduos de: alvenaria, fôrmas, armação, chapisco interno e externo, reboco interno e externo e assentamentos de pisos e revestimentos foram coletados para a edificação executada sob sistema de gerenciamento tradicional. Conforme já explicitado, após a coleta de todos os dados do primeiro empreendimento, ocorreu o treinamento da equipe.

Após o treinamento dos funcionários que compõem toda a mão de obra do empreendimento foi realizado pela equipe de engenharia um estudo de layout para minimizar os tempos de produção de cada uma das atividades avaliadas.

Os insumos utilizados para a realização das atividades avaliadas nessa pesquisa, a saber alvenaria, fôrmas, armação, chapisco interno e externo, reboco interno e externo e assentamentos de pisos e revestimentos, são: areia, cimento, cal, tijolos, madeiras, aço, pisos, revestimentos e argamassa. Os locais de armazenagem adotados de acordo com o sistema tradicional de gestão foram registrados pelos gestores da obra, são apresentados na Figura 4 e descritos a seguir:

- Areia: a areia foi descarregada por caminhão basculante em frente ao portão localizado na extremidade esquerda da obra. Após a descarga, os dois serventes que compõem a mão de obra do empreendimento realizaram o transporte da areia para dentro do terreno por meio de carros de mão.
- Tijolos: os tijolos foram recebidos em caminhão e descarregados pelo fornecedor em frente ao portão localizado na extremidade direita da obra. Após a descarga por parte do fornecedor nesse local, os dois serventes que compõem a mão de obra do empreendimento realizaram o transporte dos tijolos para o ponto de armazenagem localizado ao lado direito do muro.
- Ensacados: os ensacados como cimento, cal e argamassa foram recebidos em caminhão e descarregados pelo fornecedor dentro do container localizado em frente à fachada da obra.
- Aço: os vergalhões, arames e pregos de aço foram recebidas em caminhão e descarregados pelo fornecedor em frente ao portão localizado na extremidade direita da obra. Após a descarga por parte do fornecedor nesse local, os dois serventes que compõem a mão de obra do empreendimento realizaram o transporte dos vergalhões, arames e pregos para o ponto de armazenagem localizado ao lado da escada direita.

- Madeiras: os madeirites, tábuas e pontaletes de madeira foram recebidos em caminhão e descarregados pelo fornecedor em frente ao portão localizado na extremidade direita da obra. Após a descarga por parte do fornecedor nesse local, os dois serventes que compõem a mão de obra do empreendimento realizaram o transporte dos madeirites, tábuas e pontaletes para o ponto de armazenagem localizado ao lado direito do muro.
- Betoneira: a betoneira foi recebida em caminhonete e descarregada pelo fornecedor em seu local de uso, localizado ao lado da escada à esquerda do terreno.

Os locais de armazenamento apresentados no layout (Figura 4) foram analisados pela equipe de engenharia de modo a avaliar a possibilidade de redução dos tempos gastos em atividades que não agregam valor, tais como transporte e deslocamento para a execução das atividades avaliadas nessa pesquisa. Sendo assim, os seguintes problemas foram observados:

- Areia: a descarga da areia ocorria em duas etapas, sendo: descarga pelo caminhão basculante e transporte pelos serventes para o interior do terreno. Conforme relatado pelo gestor da obra, o tempo gasto pelos serventes para realocar a areia dentro do terreno não agregava valor ao produto final, além de gerar uma pequena perda, visto que, parte da areia que entrava em contato com o solo não poderia ser mais utilizada.
- Tijolos: a descarga dos tijolos ocorria em duas etapas, sendo: descarga pelo fornecedor na porta da obra e transporte pelos serventes para o interior do terreno. Conforme relatado pelo gestor da obra, o tempo gasto para realocação dos tijolos dentro do terreno não agregava valor ao produto, além de gerar uma pequena perda, visto que, os tijolos são materiais frágeis e quebram com o transporte.
- Ensacados: os ensacados como cimento, cal e argamassa foram armazenados em container localizado em frente à fachada da obra. De acordo com o relatado pelo gestor da obra, o caminho percorrido pelos serventes do container até a betoneira onde tais insumos são utilizados não agregava valor ao produto final.
- Aço: a descarga dos vergalhões, arames e pregos ocorria em duas etapas, sendo: descarga pelo fornecedor na porta da obra e transporte pelos serventes para o interior do terreno. Conforme relatado pelo gestor da obra, o tempo gasto pelos serventes para realocar os vergalhões, arames e pregos dentro do terreno não agregava valor ao produto final.

- Madeiras: a descarga dos madeirites, tábuas e pontaletes ocorria em duas etapas, sendo: descarga pelo fornecedor na porta da obra e transporte pelos serventes para o interior do terreno. Conforme relatado pelo gestor da obra, o tempo gasto pelos serventes para realocar os madeirites, tábuas e pontaletes dentro do terreno não agregava valor ao produto final.
- Betoneira: a betoneira foi locada ao lado da escada à esquerda do terreno. De acordo com o relatado pelo gestor da obra, a localização facilitava a produção das argamassas necessárias para a realização das atividades de: chapisco, emboço/reboco, mas tal localização aumentava o tempo necessário para deslocar estes mesmos materiais para a realização das atividades por parte dos pedreiros.

Conforme estudos de Al-aomar (2012), tem-se dentre as inúmeras fontes de perdas na construção civil: o tempo de espera de insumos e materiais para a execução das atividades, o tempo de deslocamento de insumos para armazenagem e o tempo de produção dos materiais para o uso.

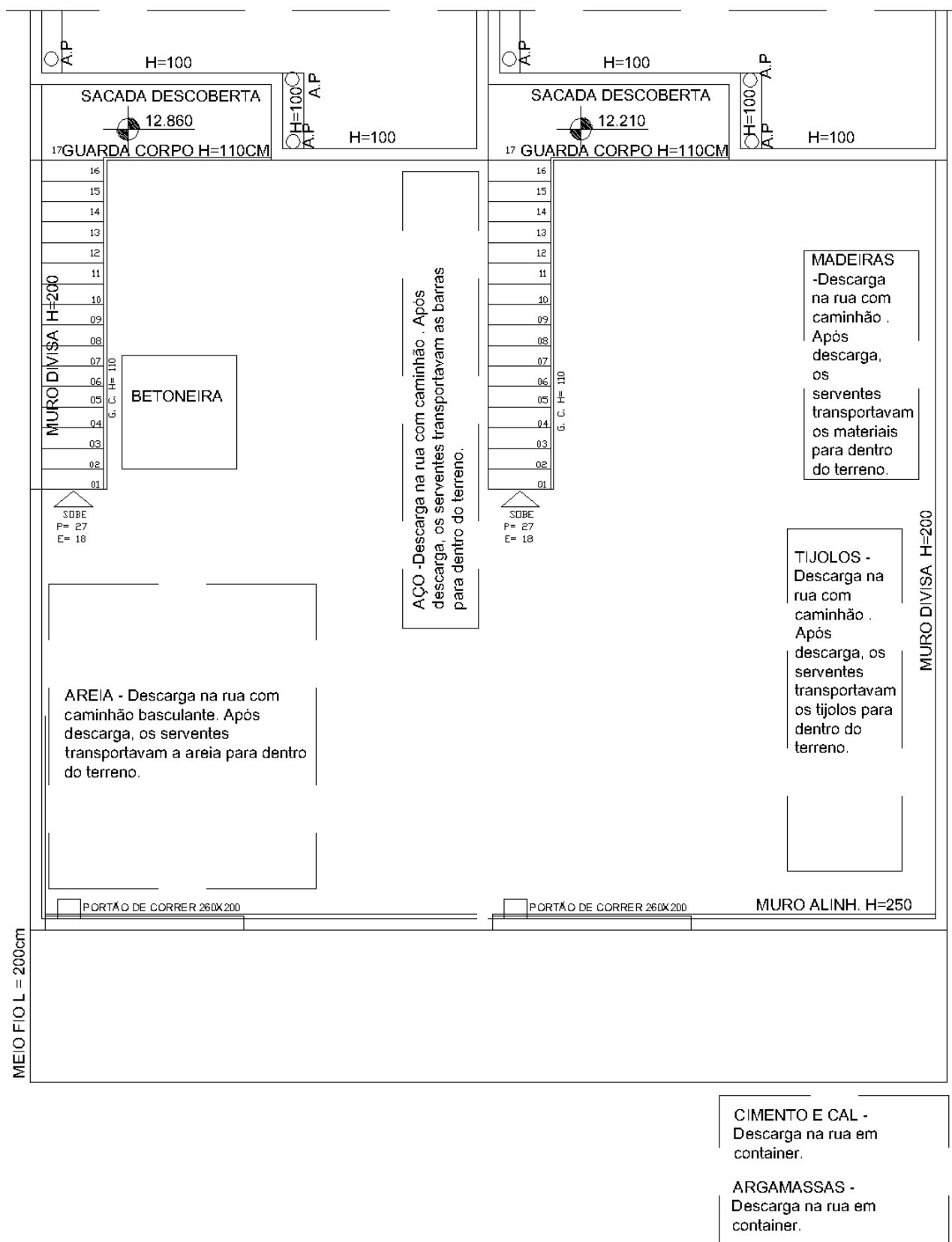
De acordo com o relatado pela equipe de engenharia o uso dos locais de armazenagem apresentados no layout da Figura 4, gera ineficiências nos tempos gastos para: armazenagem, produção dos materiais que serão utilizados e transporte dos materiais para uso nas atividades avaliadas nessa pesquisa.

Observando os problemas de deslocamento existentes no layout adotado pelo sistema de gestão tradicional, foi proposto a modificação do layout de armazenagem dos insumos utilizados para as seguintes atividades: alvenaria, fôrmas, armação, chapisco interno e externo, reboco interno e externo e assentamentos de pisos e revestimentos aplicando as ferramentas do *lean construction*. O novo layout proposto pela equipe de engenharia com o intuito de reduzir algumas atividades que não agregam valor ao produto (transporte e deslocamento) são apresentados na Figura 5.

De acordo com o gestor da obra um gargalo existente para o recebimento de insumos era o tamanho de cada um dos portões de acesso (2,6m) e o fato de cada um estar localizado em uma extremidade da frente do lote. Percebido isso, foi modificada a localização dos portões de acesso ao empreendimento. Os portões foram locados na parte central do terreno, de forma a permitir uma abertura de 5,10m na fachada no terreno o que possibilitou o acesso de caminhões (2,7m de largura) ao terreno para descarga dos insumos. Além disso, o layout de armazenamento dos insumos foi modificado da seguinte forma:

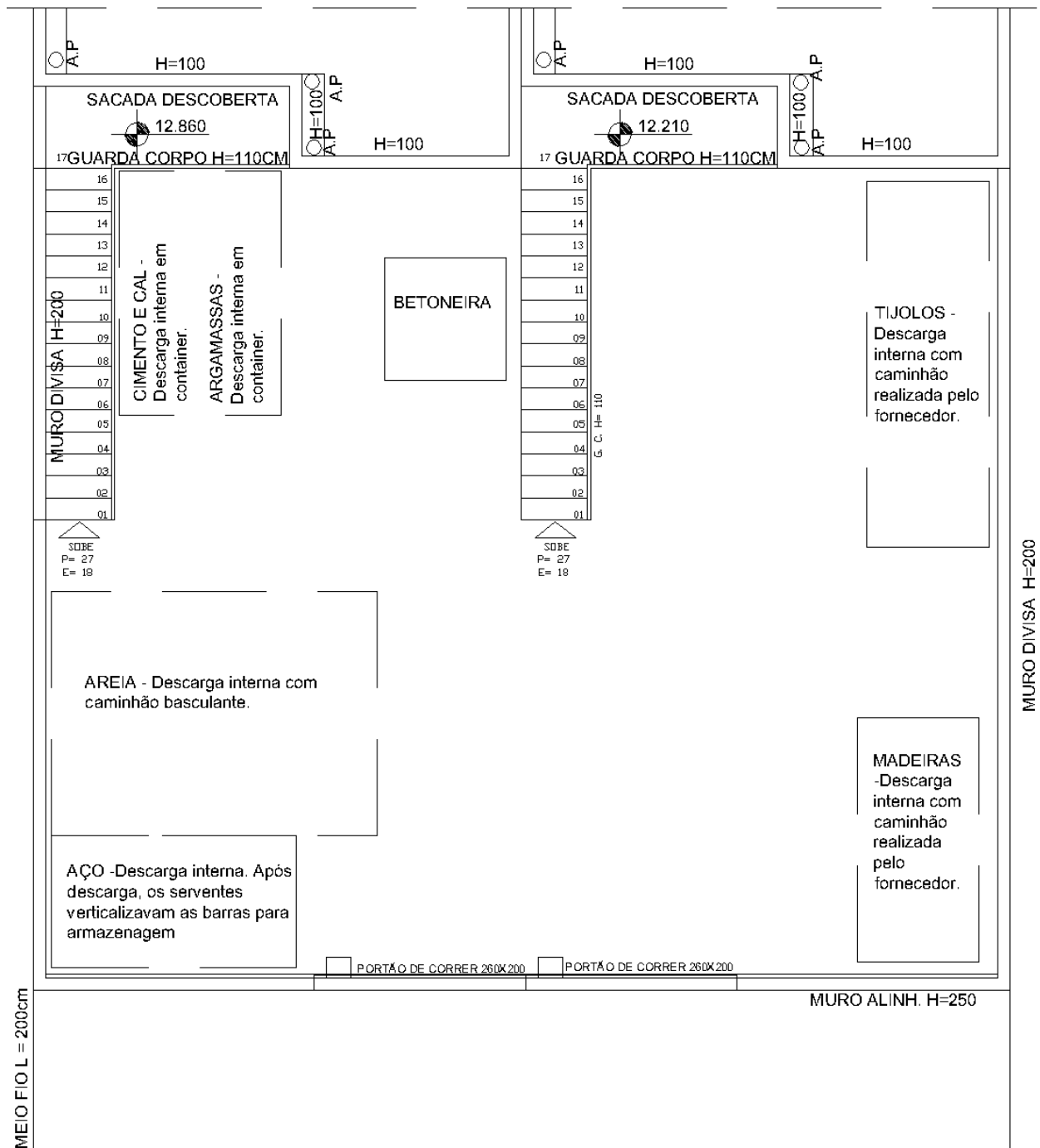
- Areia: a descarga da areia foi realizada via caminhão basculante ao lado esquerdo do terreno, conforme é apresentado na Figura 5 e foi eliminada a movimentação de areia para dentro do terreno que era realizada pelos dois serventes.
- Tijolos: a descarga dos tijolos foi realizada pelos fornecedores via caminhão dentro do terreno (em sua lateral direita) conforme é apresentado na Figura 5 e foi eliminado o transporte dos tijolos para o interior do terreno pelos dois serventes. Observa-se também na Figura 5 que os tijolos foram locados em local mais próximo da edificação onde serão consumos. De acordo com o relatado pelo gestor da obra a modificação da locação dos tijolos auxiliou na redução do tempo gasto pelos serventes para o transporte até o local de uso.
- Ensacados: a descarga dos ensacados (cimento, cal e argamassa) foi realizada pelos fornecedores via caminhão dentro do terreno (em sua lateral esquerda) conforme é apresentado na Figura 5 e foi eliminado o transporte dos ensacados para o interior do terreno pelos dois serventes. Observa-se também na Figura 5 que foi adotado um local de armazenamento para os ensacados mais próximo da edificação e mais próximo da betoneira. De acordo com o relatado pelo gestor da obra, essa nova localização auxiliou na redução do tempo de deslocamento que os serventes gastavam para buscar o cimento e o cal para utilizá-los na betoneira para produzir os diversos tipos de argamassas (assentamento, chapisco e emboço/reboco).
- Aço: a descarga do aço foi realizada pelos fornecedores via caminhão dentro do terreno (em sua lateral esquerda) conforme é apresentado na Figura 5 e foi eliminado o transporte dos vergalhões, arames e pregos para o interior do terreno pelos dois serventes.
- Madeiras: a descarga das madeiras foi realizada pelos fornecedores via caminhão dentro do terreno (em sua lateral direita) conforme é apresentado na Figura 5 e foi eliminado o transporte dos madeirites, tábuas e pontaletes para o interior do terreno pelos dois serventes.
- Betoneira: a betoneira foi locada ao lado da escada à esquerda do terreno. Conforme pode ser observado na Figura 5, a areia, o cimento e cal encontram-se ao lado da betoneira e a betoneira encontra-se encostada nas edificações. Dessa forma, de acordo com o relatado pelo gestor da obra, o tempo gasto com os deslocamentos de insumos e de argamassas pôde ser reduzido devido à maior proximidade com as edificações.

Figura 4 - Layout canteiro de obras - Sistema de gestão tradicional



Fonte: o autor

Figura 5 - Layout canteiro de obras - Adoção das ferramentas do *lean construction*



Fonte: o autor.

Após os treinamentos e modificação dos layouts foram coletadas as razões unitárias de produção, os insumos e os resíduos de: alvenaria, fôrmas, armação, chapisco interno e externo, reboco interno e externo e assentamentos de pisos e revestimentos para o segundo empreendimento, aplicando as ferramentas do *lean construction*. A avaliação e

análise dos dados dos insumos e das razões unitárias de produção foram realizados em subitens separados para facilitarem o entendimento dos leitores.

5.1 INSUMOS

Foi realizada a avaliação dos insumos gastos para execução do empreendimento pelos dois métodos: sistema de gestão tradicional e adoção das ferramentas do *lean construction*. A coleta dos dados sobre os insumos consumidos foi realizada pelos engenheiros responsáveis pelo empreendimento após a conclusão de cada uma das atividades: alvenaria, fôrmas, armação, chapisco interno e externo, reboco interno e externo e assentamentos de pisos e revestimentos. Para facilitar a apresentação dos resultados, a análise de cada uma destas atividades foi realizada em tópicos separados.

5.1.1 Alvenaria

Os insumos coletados pela equipe de engenharia para a atividade de alvenaria foram: tijolos, cimento, areia e cal. Cada um desses insumos foi quantificado após a execução de cada edificação e em cada uma das duas metodologias: sistema de gestão tradicional e adotando as ferramentas do *lean construction*, conforme já explicitado no método de pesquisa e são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Insumos gastos na produção da alvenaria

Alvenaria	Tradicional	<i>Lean Const.</i>	Diferença %
Tijolos (unid)	12.520	11.890	-5,03%
Areia (m ³)	24,7	23,6	-4,45%
Cimento (sacos)	115	112	-2,61%
Cal (sacos)	276	269	-2,54%

Fonte: o autor

Conforme pode ser observado na Tabela 1, o consumo dos insumos, avaliados na atividade, foram menores com a aplicação das ferramentas do *lean construction*. Trabalhos como o de Ogunbiyi, Oladapo e Goulding (2013), afirmam que a adoção das ferramentas do *lean construction* podem gerar redução no consumo de materiais, redução do desperdício e aumento da produtividade nos canteiros de obras.

No caso estudado, percebe-se uma redução de 5,03% na quantidade de tijolos, 4,45% no volume de areia, 2,61% na quantidade de sacos de cimento e 2,54% na quantidade de sacos de cal. Observa-se por meio da modificação do layout, apresentado na Figura 5, que, os insumos utilizados para a atividade (cimento, cal, areia e tijolos) tiveram seu local de armazenamento alterado para reduzir a movimentação dos mesmos.

De acordo com o relatado pelo gestor da obra com a adoção das ferramentas do *lean construction* e adequação do layout de obras a dupla movimentação de insumos existente no sistema de gestão tradicional foi eliminada. Deve-se ressaltar que materiais frágeis como os tijolos tendem a quebrar durante o transporte e que sacarias, como a cal e o cimento, podem perder parte de seu volume durante sua movimentação. Sendo assim, a redução nas movimentações de tais insumos contribui para a redução no consumo dos mesmos.

5.1.2 Fôrmas

Os insumos coletados pela equipe de engenharia para a atividade de fôrma foram: tábuas, madeirites, pontaletes e pregos. Cada um desses insumos foi quantificado após a execução de cada edificação e em cada uma das duas metodologias: sistema de gestão tradicional e adotando as ferramentas do *lean construction*, conforme já explicitado no método de pesquisa e são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Insumos gastos na produção da fôrmas

Fôrmas	Tradicional	<i>Lean Const.</i>	Diferença %
Tábuas (m ²)	72	72	0,00%
Madeirites (unid)	28	28	0,00%
Pontaletes (unid)	76	76	0,00%
Pregos (Kg)	5	4	-20,00%

Fonte: o autor

Conforme pode ser observado na Tabela 2, o consumo de tábuas, madeirites e pontaletes foram os mesmos aplicando o sistema de gestão tradicional e com a aplicação das ferramentas do *lean construction*. De acordo com o relatado pelo gestor da obra, a atividade de fôrmas é extremamente racionalizada e segue exatamente o proposto pelo projeto estrutural.

Ressalta-se que o estudo foi realizado em um empreendimento onde o projeto estrutural já era conhecido por toda a equipe que executou o empreendimento. Além disso, os quantitativos de materiais derivados de madeira já eram controlados pela equipe de engenharia com exatidão, visto que, o custo da madeira é representativo para curva ABC de custos da obra (subitem da estrutura, apresentado na Figura 3).

Por outro lado, foi observado uma redução de 20% no consumo de pregos comparando a adoção das ferramentas do *lean construction* com a adoção do método de gestão tradicional. Trabalhos como o de Dixit *et al.* (2017), afirmam que a adoção das ferramentas do *lean construction* podem gerar redução no desperdício de materiais nos canteiros de obras, o que seria uma das possíveis razões para tal redução. Além disso, foi relatado pelo

gestor da obra, que por meio dos novos procedimentos operacionais da empresa para a execução de fôrmas, ao final do dia, todos os pregos soltos no chão eram recolhidos para serem utilizados novamente no dia seguinte, o que, possivelmente foi a causa da redução no consumo de pregos.

5.1.3 Armação

Os insumos coletados pela equipe de engenharia para a atividade de armação foram: barras de aço e arames, agrupados apenas como aço. A utilização desse insumo foi quantificada após a execução de cada edificação e em cada uma das duas metodologias: sistema de gestão tradicional e adotando as ferramentas do *lean construction*, conforme já explicitado no método de pesquisa e são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Insumos gastos na produção do aço

Armação	Tradicional	<i>Lean Const.</i>	Diferença %
Aço (Kg)	2.352	2.352	00,00%

Fonte: o autor

Conforme pode ser observado na Tabela 3, o consumo de aço foi o mesmo aplicando o sistema de gestão tradicional e com a aplicação das ferramentas do *lean construction*. De acordo com o relatado pelo gestor da obra, a atividade de armação é extremamente racionalizada, segue exatamente o proposto pelo projeto estrutural e as armações já são recebidas na obra cortadas e dobradas, ou seja, ocorre apenas a montagem dos elementos estruturais, como pilares, vigas e lajes, no canteiro de obras.

Ressalta-se que o estudo foi realizado em um empreendimento onde o projeto estrutural já era conhecido por toda a equipe que executou o empreendimento. Além disso, os quantitativos de aço já eram controlados pela equipe de engenharia com exatidão, visto que, o custo do aço é representativo para curva ABC de custos da obra (subitem da estrutura, apresentado na Figura 3). Além disso, foi relatado pelo gestor da obra, que a modificação no local de armazenagem de aço não interferiu diretamente em nenhuma modificação nas quantias de aço, sendo por perdas durante a armazenagem ou quaisquer outros fatores.

5.1.4 Chapisco Interno e Externo

Os insumos coletados pela equipe de engenharia para a atividade de chapisco interno e externo foram: areia e cimento. Cada um desses insumos foi quantificado após a execução de cada edificação e em cada uma das duas metodologias: sistema de gestão

tradicional e adotando as ferramentas do *lean construction*, conforme já explicitado no método de pesquisa e são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Insumos gastos na produção de chapisco interno e externo

Chapisco Int. e Ext.	Tradicional	<i>Lean Const.</i>	Diferença %
Areia (m ³)	5,99	5,36	-11,75%
Cimento (sacos)	54	50	-10,20%

Fonte: o autor

Conforme pode ser observado na Tabela 4, o consumo de areia e cimento foram menores com a aplicação das ferramentas do *lean construction*. Trabalhos como o de Ko (2010), afirmam que por meio da adoção das ferramentas do *lean construction* podem ser geradas melhorias em relação ao consumo de materiais, por meio da redução nas perdas, sejam elas oriundas da própria atividade ou de atividades predecessoras. Tal como afirmado por Ko (2010), percebe-se que a redução no consumo de insumos do chapisco é oriunda de uma alvenaria de melhor qualidade e da execução racionalizada da atividade.

No caso estudado, percebe-se uma redução de 11,75% no volume de areia e 10,20% na quantidade de sacos de cimento utilizados. Observa-se por meio da modificação do layout, apresentado na Figura 5, que, os insumos utilizados para a atividade (cimento e areia) tiveram seu local de armazenamento alterado para reduzir a movimentação dos mesmos.

De acordo com o relatado pelo gestor da obra com a adoção das ferramentas do *lean construction*, ocorreu uma melhora na qualidade final da atividade de alvenaria. Após a modificação dos processos operacionais padrões, a execução da elevação de alvenaria pela equipe resultou em uma alvenaria de maior qualidade em termos de planicidade e ausência de tijolos com pequenos furos ou trincas. Com a redução nas irregularidades da superfície era esperado que ocorresse uma redução no uso dos insumos, visto que, a área de aplicação de chapisco seria menor em relação a área de chapisco com a utilização do método de gestão tradicional.

Além disso, com a adequação do layout do canteiro de obras a descarga ocorria exclusivamente dos caminhões para os locais de armazenagem definitivos. Dessa forma, a dupla movimentação de insumos existente no sistema de gestão tradicional foi eliminada, reduzindo a movimentação dos mesmos e auxiliando na redução de seu consumo.

5.1.5 Emboço/Reboco Interno e Externo

Os insumos coletados pela equipe de engenharia para a atividade de emboço/reboco interno e externo foram: areia, cimento e cal. Cada um desses insumos foi quantificado

após a execução de cada edificação e em cada uma das duas metodologias: sistema de gestão tradicional e adotando as ferramentas do *lean construction*, conforme já explicitado no método de pesquisa e são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Insumos gastos na produção de emboço/reboco interno e externo

Emboço/Reboco Int. e Ext.	Tradicional	<i>Lean Const.</i>	Diferença %
Areia (m ³)	42,46	39,39	-7,79%
Cimento (sacos)	132	126	-4,76%
Cal (sacos)	297	287	-3,48%

Fonte: o autor

Conforme pode ser observado na Tabela 5, o consumo de areia, cimento e cal foram menores com a aplicação das ferramentas do *lean construction*. Trabalhos como o de Aziz e Hafez (2013), afirmam que por meio da adoção das ferramentas do *lean construction* relacionadas à racionalização dos processos de produção podem ser geradas melhorias em relação ao consumo de materiais, o que corrobora com a redução no consumo de cimento, cal areia apresentados na Tabela 5.

No caso estudado, observa-se uma redução de 7,79% no volume de areia, 4,76% na quantidade de sacos de cimento e 3,48% na quantidade de sacos de cal utilizados. Observa-se por meio da modificação do layout, apresentado na Figura 5, que, os insumos utilizados para a atividade (cimento, cal e areia) tiveram seu local de armazenamento alterado para reduzir a movimentação dos mesmos. De acordo com o relatado pelo gestor da obra a redução na movimentação dos insumos e influenciou a redução de seu consumo.

5.1.6 Assentamento de Revestimentos e Pisos

Os insumos coletados pela equipe de engenharia para a atividade de assentamento de revestimentos e pisos foram: revestimentos, pisos e argamassas. Cada um desses insumos foi quantificado após a execução de cada edificação e em cada uma das duas metodologias: sistema tradicional e adotando as ferramentas do *lean construction*, conforme já explicitado no método de pesquisa e são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Insumos gastos no assentamento de pisos e revestimentos

Assentamento de pisos e revestimentos	Tradicional	<i>Lean Const.</i>	Diferença %
Revestimentos (m ²)	264,6	254,1	-4,13%
Pisos (m ²)	285,95	273,05	-4,72%
Argamassa ACII (sacos)	275	264	-4,17%

Fonte: o autor

Conforme pode ser observado na Tabela 6, o consumo de revestimentos, pisos e argamassa ACII foram menores com a aplicação das ferramentas do *lean construction*. Trabalhos como o de Alarcon, Diethelmand e Rojo (2002), afirmam que por meio da adoção das ferramentas do *lean construction* relacionadas à redução na variação das técnicas construtivas e na variação dos fluxos de trabalho, podem ser geradas melhorias em relação ao consumo de materiais, o que corrobora com a redução obtida para o consumo de revestimentos, pisos e argamassa já apresentados.

No caso estudado, observa-se uma redução de 4,13% na quantidade de revestimentos utilizados, 4,72% na quantidade de pisos utilizados e 4,17% na quantidade de sacos de argamassa ACII utilizados. Observa-se por meio da modificação do layout, apresentado na Figura 5, que, os insumos utilizados para a atividade (argamassa ACII) tiveram seu local de armazenamento alterado para reduzir a movimentação dos mesmos.

De acordo com o relatado pelo gestor da obra a descarga das argamassas dos caminhões para os locais de armazenagem definitivos reduziu a movimentação desses insumos e influenciou na redução de seu consumo. Por outro lado, tanto na metodologia de gestão tradicional, quanto aplicando as ferramentas da metodologia *lean construction*, os pisos e revestimentos já eram armazenados no interior das unidades onde seriam aplicados, com o intuito de evitar movimentação e reduzir as perdas por movimentação.

Outra modificação adotada por meio das ferramentas do *lean construction* e relatada pelo gestor da obra foi a adequação prévia da paginação dos pisos e revestimentos antes de seu assentamento. Essa avaliação prévia permitiu ao gestor de obra, a adequação da paginação, reduzindo o número de cortes nos pisos e revestimentos. Como as atividades eram avaliadas totalmente antes de seu início efetivo, a mão de obra já iniciava o assentamento dos materiais de maneira adequada e eficiente, reduzindo assim as perdas e aumentando a produtividade.

5.2 PRODUTIVIDADE

A avaliação estatística dos dados obtidos in loco foi realizada por meio do software RStudio. Este software expressa os resultados dos testes de hipóteses em termos do p-valor, também denominado de “nível descritivo do teste”. O p-valor representa a probabilidade de obter um efeito pelo menos tão extremo quanto aquele obtido em seus dados amostrais, assumindo que a hipótese nula é verdadeira, ou seja, representa a probabilidade de que a estatística do teste (como variável aleatória) tenha valor igual ou

mais extremo que aquela observada em uma amostra sob a hipótese nula, ou seja, quando a hipótese H_0 é verdadeira. (AZEVEDO, 2020).

Nessa pesquisa, as variáveis sob análise são as razões unitárias de produção (RUP's) e tais variáveis são avaliadas em relação aos seguintes fatores: metodologia e equipe.

Todos os testes estatísticos realizados nessa pesquisa foram feitos com nível de significância α de 0,05, ou seja, para a probabilidade de 5% de se observar a condição imposta sob a hipótese nula. Por exemplo, caso obtenha-se um p-valor de 0,02 para a avaliação das RUP's em relação às metodologias adotadas (tradicional x *lean construction*), isso significa que há 2% de probabilidade de se observar a condição imposta sob a hipótese nula (RUP's obtidas nos dois métodos serem estatisticamente equivalentes). Sob essas condições, o p-valor de 0,02 pode ser interpretado como a possibilidade de, para cada 100 amostras iguais, extraídas da população, 2 amostras confirmarão a hipótese nula e 98 amostras não a confirmarão. Como 2 em cada 100 representam um percentual inferior ao estabelecido como nível de significância para o teste (5 em cada 100 ou 5% ou ainda, 0,05), a conclusão estatística é pela rejeição da hipótese nula.

Em todas as atividades, após a realização da ANOVA, foram realizados testes de Tukey relacionando as RUP's das atividades com os fatores avaliados. O teste de Tukey é um teste estatístico de comparação de médias, onde são realizadas comparações entre todos os pares possíveis (médias dos tratamentos possíveis) e apresentado se há ou não diferenças estatísticas entre as médias avaliadas (AZEVEDO, 2020).

No caso da pesquisa, o teste de Tukey foi usado para comparar as médias de produtividade dos tratamentos obtidos considerando os fatores citados anteriormente. Esse teste classifica as médias em grupos alfabéticos onde, grupos com a mesma classificação, "a", por exemplo, indicam médias estatisticamente iguais e grupos diferentes, "a" e "b", por exemplo, indicam médias estatisticamente diferentes.

Conforme já citado, cada atividade possui um processo executivo diferente, com dificuldades produtivas muito específicas para cada uma delas. Sendo assim, todas as rotinas são apresentadas em tópicos separados por atividade para facilitar a avaliação dos resultados apresentados.

As atividades são apresentadas na seguinte ordem: alvenaria, chapisco externo, assentamento de pisos, fôrmas, armação, chapisco interno, emboço/reboco internos e externos e assentamento de revestimentos. Foram observadas para as três primeiras atividades uma modificação nos índices de produtividade justificada por causas independentes. Dessa forma, os resultados estatísticos e as discussões de tais resultados são apresentados separadamente.

Por outro lado, foi observado na pesquisa que as atividades de fôrmas, armação, chapisco interno, emboço/reboco internos e externos e assentamento de revestimentos tiveram comportamentos similares entre elas após a adoção das ferramentas do *lean construction*. Dessa forma, os resultados estatísticos são apresentados separadamente, mas a discussão de tais resultados é realizada após a apresentação dos dados para simplificar a análise dos mesmos.

5.2.1 Alvenaria

Ao final de cada dia de produção eram coletados os índices de produtividade de cada dupla. Foram coletadas, sob o acompanhamento do gestor da obra, 56 razões unitárias de produção sob o método de gestão tradicional e 46 razões unitárias de produção com o uso das ferramentas do *lean construction*.

Os dados coletados foram analisados quanto a sua distribuição no RStudio por meio do teste de normalidade de Kolomogorov-Simirnov (ks.test) segundo o qual foi verificado a normalidade dos dados. Após a verificação da normalidade dos dados, foi realizada a análise de variância (ANOVA) por meio do software RStudio para a avaliação da influência dos fatores: metodologia, dia da semana e equipe nos índices de produtividade.

Conforme pode ser observado na Tabela 7, o fator metodologia possui influência significativa nos valores das razões unitárias de produção ($p\text{-valor} < 0,05$).

Tabela 7 - Análise de variância das razões unitárias de produção para alvenaria, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp).

Fatores	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	P-valor	Significância
met	1	2.365	2.3653	6.987	0.00956	**
eqp	1	0.005	0.00548	0.0162	0.89903	
met:eqp	1	0.005	0.0047	0.0139	0.90649	
Residuals	98	33.176	0.33853			

Fonte: adaptado do software RStudio.

Uma vez que a análise de variância indicou que o fator metodologia é significativo para o valor das razões unitárias de produção, o teste de Tukey foi executado com o objetivo de avaliar a existência de diferença estatística entre as médias das razões unitárias de produção em relação a este fator.

O primeiro fator a ser avaliado foi a metodologia (tradicional x *lean construction*). A Tabela 8 exhibe os valores das médias e seu agrupamento. Conforme pode ser observado, a média das razões unitárias de produção das metodologias foram classificadas em diferentes grupos, indicando a existência de diferença estatística entre ambas. Assim, é

possível comprovar estatisticamente que a produtividade da atividade avaliada sob a aplicação das ferramentas do *lean construction* é diferente e superior à obtida (33,49% superior) pela metodologia tradicional.

Tabela 8 - Teste de Tukey entre as metodologias para a alvenaria

Metodologias	Produtividade	Grupos
M. Tradicional	0,914	a
M. Lean	0,608	b

Fonte: adaptado do software RStudio.

Apesar de não terem sido encontrados estudos que tratem especificamente da melhora quantitativa da aplicação das ferramentas do *lean construction*, Sarhan *et al.* (2017), ressaltam em sua pesquisa que dentre as vantagens da aplicação das ferramentas do *lean construction* nos canteiros de obras estão o aumento na produtividade, a melhora no processo de construção e redução do tempo de construção.

A melhora na produtividade obtida para os serviços de elevação de alvenaria, corrobora com tal conclusão, visto que, a utilização de processos operacionais padronizados, estudos de layout racionalizados e acompanhamento das atividades, geraram melhora nos valores das razões unitárias de produção.

Segundo a literatura, a melhoria nos valores das razões unitárias de produção pode ser creditada à diversos fatores tais como: maior proximidade dos insumos, maior controle das atividades, treinamento da equipe, motivação dos colaboradores, dentre outros. Nesse estudo, segundo informações fornecidas pelo gestor da obra, o fator que mais influenciou o aumento de produtividade foi a proximidade dos insumos, uma vez que a proximidade entre insumos e atividade reduziu o tempo gasto para o deslocamento dos materiais, diminuindo os tempos de espera.

Conforme pode ser observado na Tabela 9 com a aplicação das ferramentas do *lean construction* existiu uma redução de 17,86% nos dias de produção quando comparados aos dias gastos no método de gestão tradicional. De acordo com informações apresentadas pelo gestor da obra, a redução nos dias de produção foi causada pela adoção de novo procedimento operacional padrão da atividade. No novo procedimento, os funcionários foram distribuídos de maneira mais uniforme, reduzindo a variabilidade no fluxo de trabalho em relação ao método tradicional, o que facilitou a execução das tarefas conforme as diretrizes de execução.

Além disso, observa-se na Tabela 9 que as médias e as medianas geradas com a aplicação do *lean construction* apresentam razões unitárias de produção menores (maior eficiência produtiva) que os índices obtidos por meio do método tradicional de gestão.

Em estudos sobre as vantagens da adoção de ferramentas do *lean construction*, como o de Erol, Dikmen e Birgonul (2017), é apresentado que a redução na variação dos fluxos de trabalho podem auxiliar ganhos em tempo de produtividade, tais como foram obtidos nesse trabalho.

Tabela 9 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional -

Alvenaria

Metodologia	Qtd amostras	Média	Mediana
Lean	46	0,608	0,474
Tradicional	56	0,914	0,586

Fonte: adaptado do software RStudio.

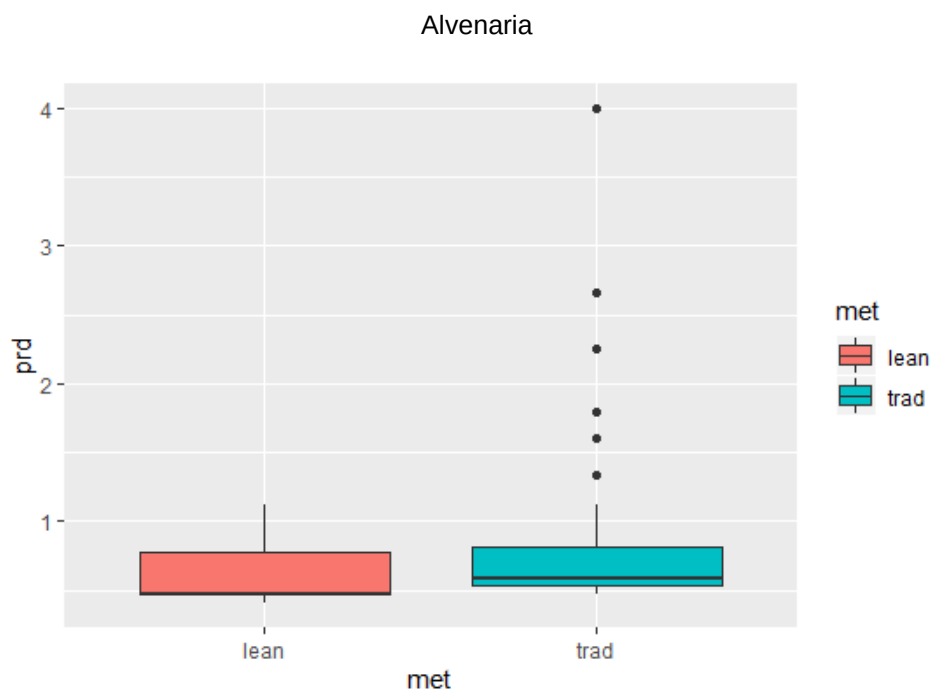
O boxplot exibido na Figura 6 apresenta a mediana das razões unitárias de produção e permite a visualização da dispersão dos dados relativos a produtividade obtida nas metodologias estudadas (tradicional x *lean*). Apesar da semelhança entre os boxplots, pode-se observar que a metodologia tradicional apresenta inúmeros valores discrepantes. Estes valores representam razões unitárias de produção fora dos intervalos de produtividade esperados e foram atribuídos, segundo o gestor da obra, à falta de ordem executiva específica para a execução das atividades.

De acordo informações apresentadas pelo gestor da obra, sob o método tradicional os funcionários apresentaram baixa produtividade nos primeiros dias de serviço (pontos de dispersão apresentados na Figura 6), o que é considerado como característica específica do método, visto que, tal comportamento se repete para as equipes e, também, em outras atividades. Após a aplicação dos treinamentos e da utilização das ferramentas do *lean construction*, os funcionários apresentaram um fluxo de trabalho contínuo devido a adequação às regras para a execução de cada parte da atividade.

Conforme citado por Bajjou et. al. (2017) a readequação dos fluxos de trabalho pode ser o principal fator que ocasionou a redução na dispersão das medidas de produtividade, sendo que, de acordo com os autores, a readequação dos fluxos de trabalho geram melhoras nos índices de produtividade e reduzem os tempos gastos para a realização de atividades que não agregam valor.

Ressalta-se que as baixas produtividades nos primeiros dias produtivos existentes pela desorganização dos fluxos de trabalho ou por características específicas dos serviços foram observadas nas outras atividades avaliadas, excetuando-se a atividade de armação.

Figura 6 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) -



Fonte: adaptado do software RStudio.

5.2.2 Chapisco Externo

Para a atividade de chapisco externo foram coletados, ao final de cada dia de produção, doze (12) amostras de razões unitárias de produção (RUP's) para o método tradicional e oito (8) sob o método apoiado no uso das ferramentas do *lean construction*.

Após a verificação da normalidade dos dados, foi realizada a análise de variância (ANOVA) por meio do software RStudio para a avaliação da influência dos fatores: metodologia, equipes e a interação entre eles nos índices de produtividade.

Conforme pode ser observado na Tabela 10, a análise de variância indica que nenhum dos fatores avaliados possuem influências significativas nos valores das razões unitárias de produção ($p\text{-valor} < 0,05$) para a atividade de chapisco externo.

Tabela 10 - Análise de variância das razões unitárias de produção para chapisco externo, avaliando os fatores metodologia (met) e equipes (eqp)

Fatores	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	P-valor	Significância
met	1	0.1124	0.11244	2.548	0.13	
eqp	1	0.0004	0.00039	0.009	0.926	
met:eqp	1	0.0008	0.00083	0.019	0.893	
Residuals	16	0.7061	0.04413			

Fonte: adaptado do software RStudio.

Confirmando os resultados da análise de variância, foi realizado o teste de Tukey. Conforme pode ser observado na Tabela 11 a média das razões unitárias de produção das metodologias foram classificadas em um mesmo grupo, indicando que não há diferença estatística entre ambas metodologias. Assim, é possível observar que a produtividade obtida para a atividade pela aplicação do *lean construction* é 51,86% superior à obtida pela metodologia tradicional, porém tal diferença não é estatisticamente comprovada.

Tabela 11 - Teste de Tukey entre as metodologias para o chapisco externo

Metodologias	Produtividade	Grupos
M. Tradicional	0,295	a
M. Lean	0,142	a

Fonte: adaptado do software RStudio.

Conforme citado por, Alsehaimi, Fazenda e Koskela (2014), a aplicação de ferramentas do *lean construction*, por meio de uma planejamento adequado e eficiente das atividades, é uma das maneiras mais eficazes para melhorar a produção, combinando a mão de obra com o trabalho disponível e coordenando as múltiplas atividades existentes em um canteiro de obras.

Para a atividade de chapisco externo o planejamento adequado da atividade foi um fator importante para o aumento dos índices produtivos. De acordo com o gestor da obra, com a adoção das ferramentas do *lean construction* a execução do chapisco externo se dava da seguinte maneira: as equipes executavam o chapisco externo nos pontos mais altos da fachada, circulando-a por completo e descendo os níveis de execução do chapisco conforme eram concluídas as execuções de todas as fachadas, utilizando-se de andaimes fachadeiros (andaimes mais seguros e com maior estabilidade para transporte de insumos) que foram instalados em todas as fachadas da obra. Quando todas as paredes externas já se encontravam chapiscadas, os andaimes existentes naquele nível eram retirados para liberar serviço no nível subsequentemente inferior. Dessa maneira, quando eram removidos todos os andaimes externos, já não existia a necessidade de remontar andaimes, ou readequar nenhuma região de chapisco externo o que auxiliou na melhora dos índices de produtividade para a atividade.

Conforme pode ser observado na Tabela 12, foram coletadas, sob o acompanhamento do gestor da obra, 12 razões unitárias de produção aplicando o método de gestão tradicional enquanto foram coletadas 8 razões unitárias de produção utilizando as ferramentas do *lean construction*, uma redução de 33,33% nos dias de produção. Além disso, observa-se que as médias e as medianas geradas com a aplicação das ferramentas

do *lean construction* apresentam razões unitárias de produção menores (maior eficiência produtiva) que os índices obtidos por meio do método tradicional de gestão.

Tabela 12 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional – Chapisco Externo

Metodologia	Qtd amostras	Média	Mediana
Lean	8	0,142	0,125
Tradicional	12	0,295	0,200

Fonte: adaptado do software RStudio.

Ressalta-se que nos resultados apresentados nas tabelas não existe diferença significativa entre os fatores avaliados (metodologia, equipes e a interação entre metodologia e equipes). Dessa maneira, optou-se por não realizar testes de comparação de médias para tais variáveis, visto que, seriam apresentados grupos unitários (grupos únicos) para toda análise que fosse realizada.

5.2.3 Assentamento de Pisos

Para esta atividade foram coletadas, ao final de cada de dia produção, dezoito (18) amostras (RUP's) com o uso do método de gestão tradicional e quatorze (14) amostras sob o método apoiado no uso das ferramentas do *lean construction*.

Conforme pode ser observado na Tabela 13, a análise de variância (ANOVA) não evidenciou influências significativas para os fatores avaliados nos valores das razões unitárias de produção para um nível de significância de 0,05.

Tabela 13 - Análise de variância das razões unitárias de produção para assentamento de pisos, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp)

Fatores	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	P-valor	Significância
met	1	0.1702	0.17019	3.316	0.0793	
eqp	1	0.0184	0.01845	0.359	0.5536	
met:eqp	1	0.0202	0.02022	0.394	0.5353	
Residuals	28	1.4372	0.05133			

Fonte: adaptado do software RStudio.

No entanto, apesar da ANOVA não indicar influência dos fatores, optou-se por executar o teste de Tukey como confirmação da análise estatística. O primeiro fator avaliado foi a metodologia (tradicional x *lean construction*). Conforme pode ser observado na Tabela 14, a média das razões unitárias de produção das metodologias foram classificadas em um único grupo, indicando que não há existência de diferença estatística entre ambas. Assim, mesmo apresentando RUP's numericamente menores (maior produtividade) não é possível

comprovar estatisticamente que a produtividade obtida pela aplicação das ferramentas do *lean construction* é diferente à obtida pela metodologia tradicional.

Tabela 14 - Teste de Tukey entre as metodologias para assentamento de pisos

Metodologias	Produtividade	Grupos
M. Tradicional	0,645	a
M. Lean	0,498	a

Fonte: adaptado do software RStudio.

Conforme pode ser observado na Tabela 15, houve uma redução de 22,22% nos dias de produção. De acordo informações apresentadas pelo gestor da obra, sob o método tradicional as equipes realizavam inicialmente os testes de paginação dos pisos, sem acompanhamento da equipe técnica e iniciavam o assentamento dos pisos em cômodos separados. Tal ordem executiva gerava maior tempo de deslocamento dos insumos para a realização da atividade, visto que, cada equipe trabalhava em um cômodo diferente do empreendimento. Após a aplicação dos treinamentos e da utilização das ferramentas do *lean construction*, tais como, programação de trabalho em equipe (*last system planner*), as paginações foram todas definidas em conjunto com a equipe técnica, auxiliando na redução dos prazos de execução.

Tabela 15 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional para assentamento de pisos

Metodologia	Qtd amostras	Média	Mediana
Lean	14	0,498	0,458
Tradicional	18	0,645	0,548

Fonte: adaptado do software RStudio.

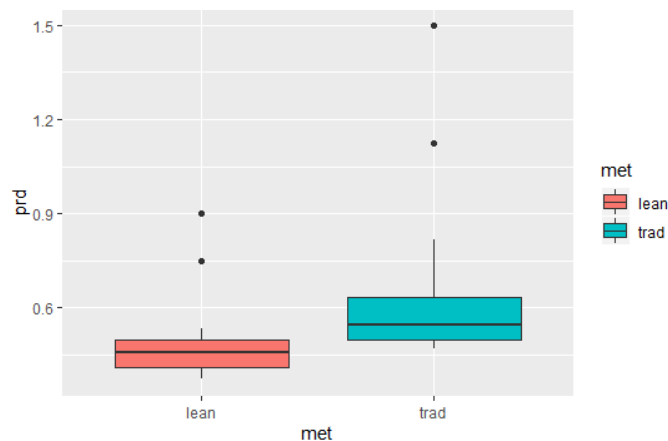
Em estudos sobre a adoção de ferramentas do *lean construction* como o de Li *et al.* (2017), a programação de trabalho em equipe (*last system planner*) é apresentada como uma ferramenta que auxilia na redução na variação dos fluxos de trabalho e pode gerar ganhos produtivos, tais como foram obtidos nesse trabalho.

Pode-se observar no boxplot exibido na Figura 7 que tanto aplicando a metodologia tradicional quanto adotando as ferramentas do *lean construction* apresentam-se dois valores discrepantes. Esses valores representam RUP's fora dos intervalos de produtividade esperados, associados aos momentos de início das atividades e são considerados como característica da atividade pelo gestor de obra (teste das possíveis paginações para o assentamento dos pisos).

Conforme explicitado na atividade de elevação de alvenaria, a organização da atividade em seu início gera redução nos fluxos produtivos e consequente melhoria nos índices de produtividade. Observa-se no boxplot apresentado na Figura 7 que mesmo apresentando

valores discrepantes nas duas metodologias, os índices de produtividade discrepantes obtidos no *lean construction* tiveram valores menores que os obtidos com o sistema de gestão tradicional (maior produtividade). Além disso, pode-se observar no boxplot que a metodologia tradicional apresenta RUP's de maior valor (menor produtividade) em relação as RUP's obtidas utilizando-se das ferramentas do *lean construction*.

Figura 7 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) – Assentamento de pisos



Fonte: adaptado do software RStudio.

Segundo o gestor da obra, o assentamento de pisos é uma atividade de alto índice produtivo mesmo sob o método de gestão tradicional. Nesse cenário, a adoção das ferramentas do *lean construction* auxiliaram na melhora numérica dos índices de produtividade, mas não foram suficientes para gerar melhora nos índices de produtividade que fossem estatisticamente significativas.

5.2.4 Fôrmas

Para a atividade de fôrmas foram coletadas cinquenta e seis (56) RUP's sob o método de gestão tradicional e quarenta e oito (48) RUP's sob o método de gestão apoiado no uso das ferramentas do *lean construction*. As RUP's foram coletadas com o acompanhamento do gestor de obra ao final de cada etapa de produção (pilares, vigas e lajes).

A Tabela 16 apresenta a análise de variância (ANOVA) executada para esta atividade e seus valores indicam que o fator metodologia é o único que possui significância sobre a produtividade. O teste de Tukey foi executado para este fator, para comprovação de existência de diferença estatística entre as médias.

Tabela 16 - Análise de variância das razões unitárias de produção para fôrmas, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp).

Fatores	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	P-valor	Significância
met	1	0.193	0.1928	5.902	0.0169	*
eqp	1	0.011	0.01094	0.335	0.5641	
met:eqp	1	0.009	0.00938	0.287	0.5933	
Residuals	100	3.267	0.03267			

Fonte: adaptado do software RStudio.

O primeiro fator a ser avaliado por meio do teste de Tukey foi a metodologia (tradicional x *lean construction*). A Tabela 17 exibe os valores das médias e seu agrupamento. Conforme pode ser observado, a média das razões unitárias de produção das metodologias foram classificadas em diferentes grupos, indicando a existência de diferença estatística entre ambas. Assim é possível comprovar que a produtividade obtida para a atividade de fôrmas com o método de gestão apoiado no uso de ferramentas do *lean construction* é estatisticamente diferente e superior em 9,57% à produtividade obtida pelo método tradicional

Tabela 17 - Teste de Tukey entre as metodologias para as fôrmas

Metodologias	Produtividade	Grupos
M. Tradicional	0,909	a
M. Lean	0,822	b

Fonte: adaptado do software RStudio.

Também pôde ser constatado uma redução de 14,29% nos dias de produção. A Tabela 18 apresenta os valores das médias e medianas da produtividade, onde pode ser verificado que ambas possuem valores inferiores (maior índice de produtividade) para o método de gestão com o uso de ferramentas do *lean construction*.

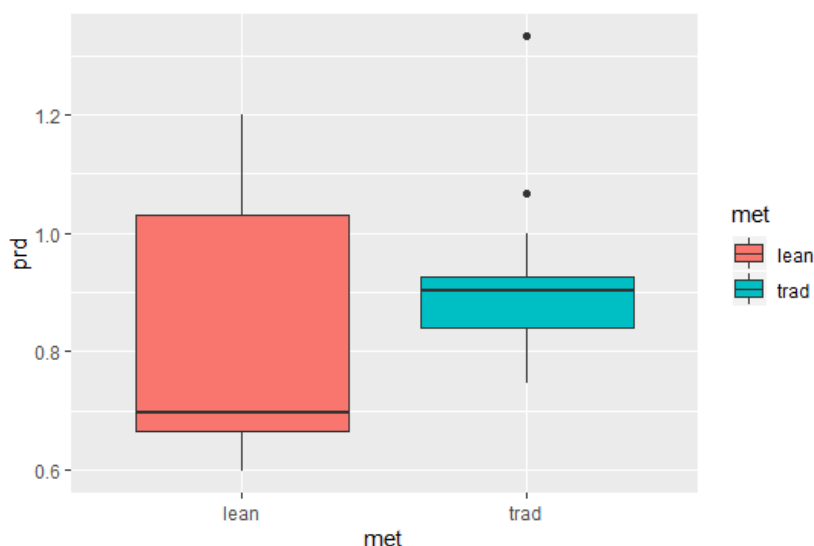
Tabela 18 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional para fôrmas

Metodologia	Qtd amostras	Média	Mediana
Lean	48	0,822	0,697
Tradicional	56	0,909	0,902

Fonte: adaptado do software RStudio.

O boxplot exibido na Figura 8 confirma o exposto no parágrafo anterior. Além disto, deve-se ressaltar que no método tradicional, o início das atividades (representado pelos dois valores discrepantes indicados no gráfico) são destacados, ao contrário do que ocorre quando o método de gestão apoiado no *lean construction* é aplicado.

Figura 8 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) - Fôrmas



Fonte: adaptado do software RStudio.

5.2.5 Armação

Para a atividade de armação foram coletadas vinte e quatro (24) RUP's sob o método de gestão tradicional e dezesseis (16) RUP's sob o método de gestão apoiado no uso das ferramentas do *lean construction*.

Conforme pode ser observado na Tabela 19 a análise de variância (ANOVA) executada para esta atividade e seus valores indicam que o fator que possui significância sobre a produtividade é a metodologia.

Tabela 19 - Análise de variância das razões unitárias de produção para armação, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp)

Fatores	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	P-valor	Significância
met	1	0.04106	0.04106	18.1	0.000143	***
eqp	1	0	0	0	1	
met:eqp	1	0	0	0	1	
Residuals	36	0.08167	0.00227			

Fonte: adaptado do software RStudio.

O primeiro fator a ser avaliado por meio do teste de Tukey foi a metodologia (tradicional x *lean construction*). Conforme pode ser observado na Tabela 20 a média das razões unitárias de produção das metodologias foram classificadas em diferentes grupos, indicando a existência de diferença estatística entre ambas. Assim é possível comprovar que a produtividade obtida para a atividade de armação com o método de gestão apoiado no uso de ferramentas do *lean construction* é estatisticamente diferente e superior em 42,21% à produtividade obtida pelo método tradicional.

Tabela 20 - Teste de Tukey entre as metodologias para a armação

Metodologias	Produtividade	Grupos
M. Tradicional	0,154	a
M. Lean	0,089	b

Fonte: adaptado do software RStudio.

Também pôde ser constatado uma redução de 33,33% nos dias de produção. A Tabela 21 apresenta os valores das médias e medianas da produtividade, onde pode ser verificado que ambas possuem valores inferiores (maior índice de produtividade) para o método de gestão com o uso de ferramentas do *lean construction*.

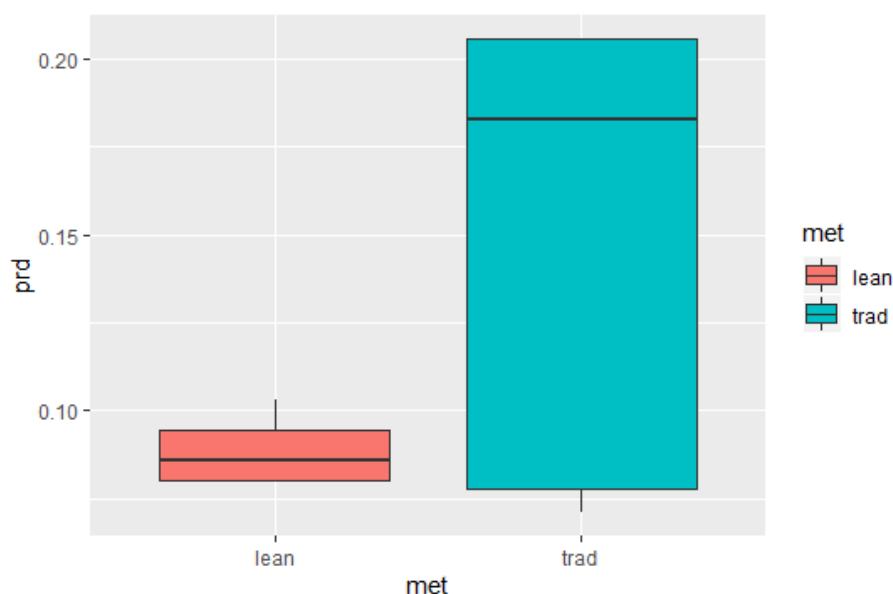
Tabela 21 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional para armação

Metodologia	Qtd amostras	Média	Mediana
Lean	16	0,089	0,086
Tradicional	24	0,154	0,183

Fonte: adaptado do software RStudio.

Pode-se observar no boxplot apresentado na Figura 9 que a metodologia tradicional apresenta uma dispersão de valores de produtividade maior que a apresentada com a aplicação das ferramentas do *lean construction*. Segundo o gestor de obras os valores de produtividade dispersos ocorreram devido à falta de ordem executiva específica para a execução das atividades. Além disso, percebe-se que por meio da metodologia tradicional as RUP's apresentam em geral valores mais altos (menor produtividade) que as RUP's apresentadas por meio da adoção das ferramentas do *lean construction*.

Figura 9 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) - Armação



Fonte: adaptado do software RStudio.

5.2.6 Chapisco Interno

Para a atividade de chapisco interno foram coletadas dezoito (18) RUP's sob o método de gestão tradicional e doze (12) RUP's sob o método de gestão apoiado no uso das ferramentas do *lean construction*.

Conforme pode ser observado na Tabela 22 a análise de variância (ANOVA) executada para esta atividade e seus valores indicam que o fator que possui significância sobre a produtividade é a metodologia.

Tabela 22 - Análise de variância das razões unitárias de produção para chapisco interno, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp)

Fatores	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	P-valor	Significância
met	1	0.0293	0.029296	17.811	0.000263	***
eqp	1	0.00002	0.000021	0.013	0.91084	
met:eqp	1	0.00005	0.000051	0.031	0.862044	
Residuals	26	0.04277	0.001645			

Fonte: adaptado do software RStudio.

O primeiro fator a ser avaliado por meio do teste de Tukey foi a metodologia (tradicional x *lean construction*). A Tabela 23 exibe os valores das médias e seu agrupamento. Conforme pode ser observado, a média das razões unitárias de produção das metodologias foram classificadas em diferentes grupos, indicando a existência de diferença estatística entre ambas. Assim é possível comprovar que a produtividade obtida para a atividade de chapisco interno com o método de gestão apoiado no uso de ferramentas do *lean construction* é estatisticamente diferente e superior em 37,65% à produtividade obtida pelo método tradicional.

Tabela 23 - Teste de Tukey entre as metodologias para o chapisco interno

Metodologias	Produtividade	Grupos
M. Tradicional	0,170	a
M. Lean	0,106	b

Fonte: adaptado do software RStudio.

Também pôde ser constatado uma redução de 33,33% nos dias de produção. A Tabela 24 apresenta os valores das médias e medianas da produtividade, onde pode ser verificado que ambas possuem valores inferiores (maior índice de produtividade) para o método de gestão com o uso de ferramentas do *lean construction*.

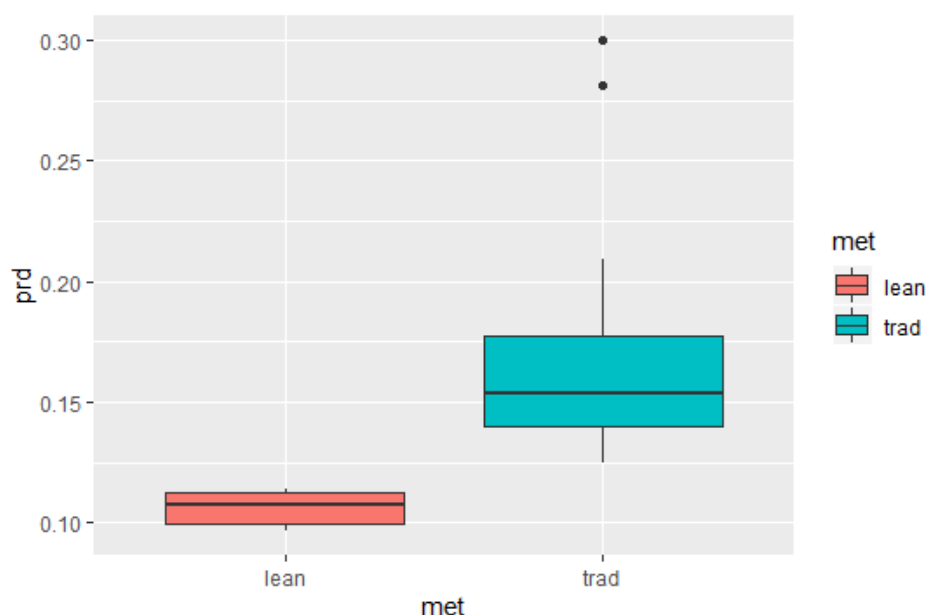
Tabela 24 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional – Chapisco Interno

Metodologia	Qtd amostras	Média	Mediana
Lean	12	0,106	0,107
Tradicional	18	0,170	0,153

Fonte: adaptado do software RStudio.

Pode-se observar no boxplot exibido na Figura 10 que a metodologia tradicional apresenta dois valores discrepantes oriundos da desorganização produtiva no início das atividades existente sob essa metodologia. Além disso, percebe-se que por meio da metodologia tradicional as RUP's apresentam em geral valores mais altos (menor produtividade) que as RUP's apresentadas por meio da adoção das ferramentas do *lean construction*.

Figura 10 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) – Chapisco Interno



Fonte: adaptado do software RStudio.

5.2.7 Emboço/Reboco Interno

Para a atividade de emboço/reboco interno foram coletadas cinquenta e duas (52) RUP's sob o método de gestão tradicional e quarenta (40) RUP's sob o método de gestão apoiado no uso das ferramentas do *lean construction*.

Conforme pode ser observado na Tabela 25 a análise de variância (ANOVA) executada para esta atividade e seus valores indicam que a metodologia é o único fator, dentre os avaliados, que possui significância sobre a produtividade.

Tabela 25 - Análise de variância das razões unitárias de produção para emboço/reboco interno, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp)

Fatores	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	P-valor	Significância
met	1	0.23158	0.23158	82.588	2.71E-14	***
eqp	1	0.0002	0.0002	0.071	0.791	
met:eqp	1	0.00026	0.00026	0.092	0.762	
Residuals	88	0.24676	0.0028			

Fonte: adaptado do software RStudio.

O primeiro fator a ser avaliado por meio do teste de Tukey foi a metodologia (tradicional x *lean construction*). A Tabela 26 exibe os valores das médias e seu agrupamento. Conforme pode ser observado, a média das razões unitárias de produção das metodologias foram classificadas em diferentes grupos, indicando a existência de diferença estatística entre ambas. Assim é possível comprovar que a produtividade obtida para a atividade de emboço/reboco interno com o método de gestão apoiado no uso de ferramentas do *lean construction* é estatisticamente diferente e superior em 21,96% à produtividade obtida pelo método tradicional.

Tabela 26 - Teste de Tukey entre as metodologias para emboço/reboco interno

Metodologias	Produtividade	Grupos
M. Tradicional	0,460	a
M. Lean	0,359	b

Fonte: adaptado do software RStudio.

Também pôde ser constatado uma redução de 23,08% nos dias de produção. A Tabela 27 apresenta os valores das médias e medianas da produtividade, onde pode ser verificado que ambas possuem valores inferiores (maior índice de produtividade) para o método de gestão com o uso de ferramentas do *lean construction*.

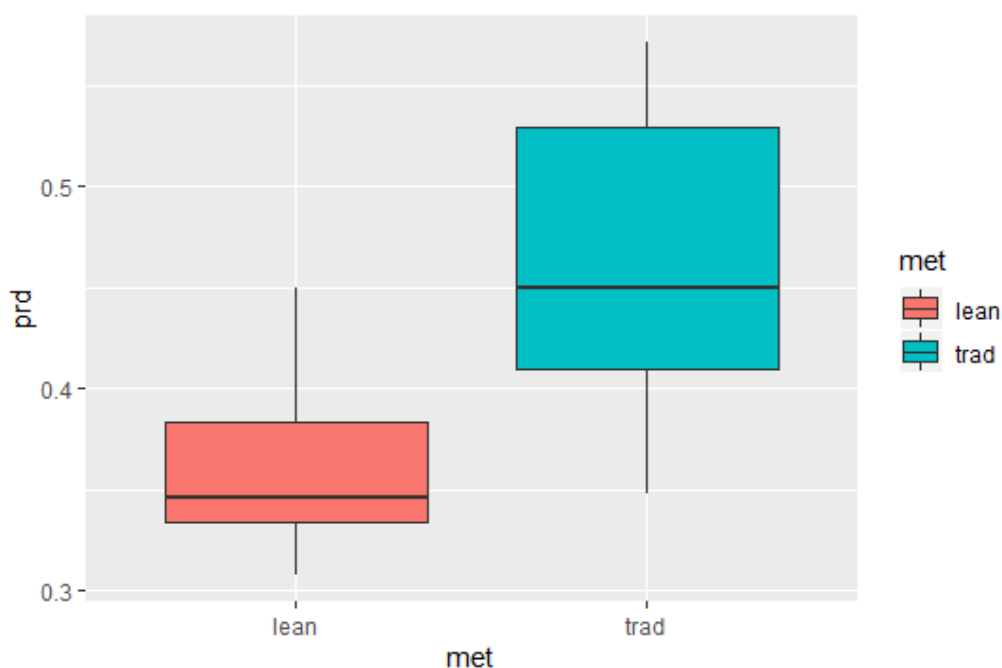
Tabela 27 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional para emboço/reboco interno

Metodologia	Qtd amostras	Média	Mediana
Lean	40	0,359	0,346
Tradicional	52	0,460	0,450

Fonte: adaptado do software RStudio.

Pode-se observar no boxplot exibido na Figura 11 que a metodologia tradicional apresenta RUP's de maior valor (menor produtividade) em relação as RUP's obtidas utilizando-se das ferramentas do *lean construction*.

Figura 11 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) – Emboço/reboco interno



Fonte: adaptado do software RStudio.

5.2.8 Emboço/Reboco Externo

Para a atividade de emboço/reboco externo foram coletadas vinte e quatro (24) RUP's sob o método de gestão tradicional e dezoito (18) RUP's sob o método de gestão apoiado no uso das ferramentas do *lean construction*.

Conforme pode ser observado na Tabela 28 a análise de variância (ANOVA) executada para esta atividade e seus valores indicam que a metodologia é o único fator, dentre os avaliados, que possui significância sobre a produtividade.

Tabela 28 - Análise de variância das razões unitárias de produção para emboço/reboco externo, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp)

Fatores	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	P-valor	Significância
met	1	0.12	0.12	22.411	3.04E-05	***
eqp	1	0.00063	0.00063	0.117	0.734	
met:eqp	1	0.00093	0.00093	0.174	0.679	
Residuals	38	0.20348	0.00535			

Fonte: adaptado do software RStudio.

O primeiro fator a ser avaliado pelo teste de Tukey foi a metodologia (tradicional x *lean construction*). Conforme pode ser observado na Tabela 29 a média das razões unitárias de produção das metodologias foram classificadas em diferentes grupos, indicando a

existência de diferença estatística entre ambas. Assim é possível comprovar que a produtividade obtida para a atividade de emboço/reboco externo com o método de gestão apoiado no uso de ferramentas do *lean construction* é estatisticamente diferente e superior em 24,60% à produtividade obtida pelo método tradicional.

Tabela 29 - Teste de Tukey entre as metodologias para emboço/reboco externo

Metodologias	Produtividade	Grupos
M. Tradicional	0,439	a
M. Lean	0,331	b

Fonte: adaptado do software RStudio.

Também pôde ser constatado uma redução de 25,00% nos dias de produção. A Tabela 30 apresenta os valores das médias e medianas da produtividade, onde pode ser verificado que ambas possuem valores inferiores (maior índice de produtividade) para o método de gestão com o uso de ferramentas do *lean construction*.

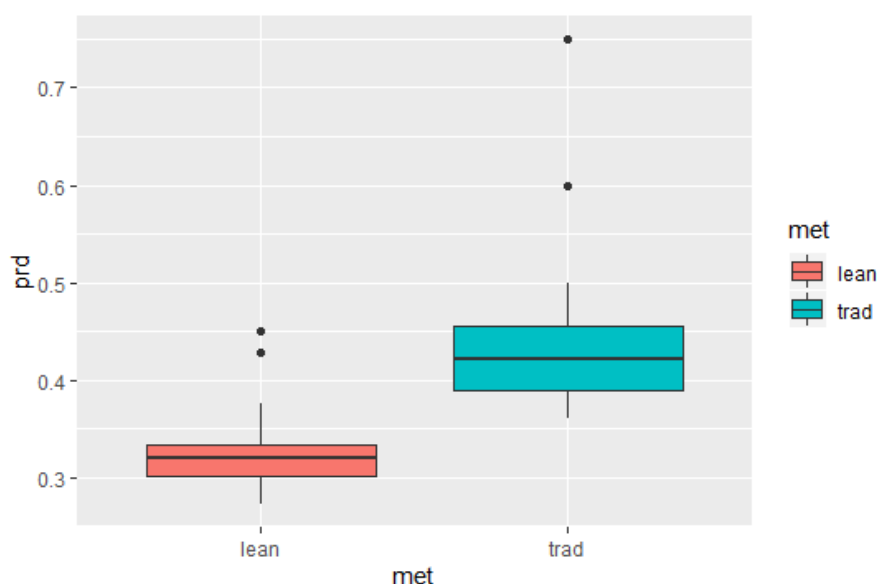
Tabela 30 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional para emboço/reboco externo

Metodologia	Qtd amostras	Média	Mediana
Lean	18	0,331	0,321
Tradicional	24	0,439	0,421

Fonte: adaptado do software RStudio.

Pode-se observar no boxplot apresentado na Figura 12 que tanto aplicando a metodologia tradicional quanto adotando as ferramentas do *lean construction* apresentam-se dois valores discrepantes. Estes valores representam valores de produtividade relativos aos inícios de execução das atividades e de acordo com o relatado pelo gestor da obra são devidos à necessidade de preparação de equipamentos para início das atividades. Além disso, pode-se observar no boxplot que a metodologia tradicional apresenta RUP's de maior valor (menor produtividade) em relação as RUP's obtidas utilizando-se das ferramentas do *lean construction*.

Figura 12 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) – Emboço/reboco externo



Fonte: adaptado do software RStudio.

5.2.9 Assentamento de Revestimentos

Para a atividade de assentamento de revestimentos foram coletadas trinta (30) RUP's sob o método de gestão tradicional e vinte e quatro (24) RUP's sob o método de gestão apoiado no uso das ferramentas do *lean construction*.

Conforme pode ser observado na Tabela 31 a análise de variância (ANOVA) executada para esta atividade e seus valores indicam que o fator que possui significância sobre a produtividade é a metodologia.

Tabela 31 - Análise de variância das razões unitárias de produção para assentamento de revestimentos, avaliando os fatores metodologia (met) e equipe (eqp)

Fatores	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	P-valor	Significância
met	1	0.6914	0.6914	18.01	9.51E-05	***
eqp	1	0.0019	0.0019	0.05	0.823	
met:eqp	1	0	0	0	0.986	
Residuals	50	1.9196	0.0384			

Fonte: adaptado do software RStudio.

Conforme pode ser observado pelo teste de Tukey na Tabela 32, a média das razões unitárias de produção das metodologias foram classificadas em diferentes grupos, indicando a existência de diferença estatística entre ambas. Assim é possível comprovar que a produtividade obtida para a atividade de assentamento de revestimentos com o

método de gestão apoiado no uso de ferramentas do *lean construction* é estatisticamente diferente e superior em 20,19% à produtividade obtida pelo método tradicional.

Tabela 32 - Teste de Tukey entre as metodologias para assentamento de revestimentos

Metodologias	Produtividade	Grupos
M. Tradicional	1,124	a
M. Lean	0,897	b

Fonte: adaptado do software RStudio.

Também pôde ser constatado uma redução de 20,00% nos dias de produção. A Tabela 33 apresenta os valores das médias e medianas da produtividade, onde pode ser verificado que ambas possuem valores inferiores (maior índice de produtividade) para o método de gestão com o uso de ferramentas do *lean construction*.

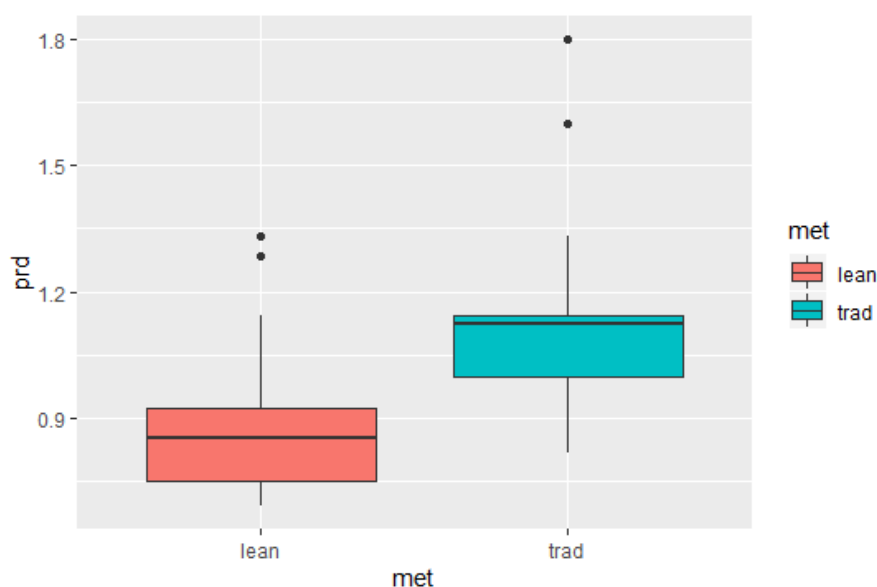
Tabela 33 - Média e mediana da razão unitária de produção entre as metodologias lean e tradicional para assentamento de revestimentos

Metodologia	Qtd amostras	Média	Mediana
Lean	24	0,897	0,854
Tradicional	30	1,124	1,125

Fonte: adaptado do software RStudio.

Pode-se observar no boxplot apresentado na Figura 13 que tanto aplicando a metodologia tradicional quanto adotando as ferramentas do *lean construction* apresentam-se dois valores discrepantes. Estes valores representam razões unitárias de produção fora dos intervalos de produtividade esperado e de acordo com o relatado pelo gestor da obra no método de gestão tradicional são devidos aos dois momentos de início das atividades, onde as equipes ficavam testando as possíveis paginações para as paredes onde seriam aplicados os revestimentos e com a aplicação das ferramentas do *lean construction* são relativos aos dias onde eram assentados os recortes de revestimentos que se encontram com os pisos. Além disso, pode-se observar no boxplot que a metodologia tradicional apresenta RUP's de maior valor (menor produtividade) em relação as RUP's obtidas utilizando-se das ferramentas do *lean construction*.

Figura 13 - Boxplot relacionando os RUP's (prd) e as metodologias adotadas em casa cenário (met) – Assentamento de revestimentos



Fonte: adaptado do software RStudio.

5.2.10 Discussão dos resultados apresentados em 5.2.4 a 5.2.9

Conforme já explicitado as atividades de fôrmas, armação, chapisco interno, emboço/reboco internos e externos e assentamento de revestimentos tiveram comportamentos similares entre elas após a adoção das ferramentas do *lean construction*. Dessa forma, os resultados estatísticos foram apresentados separadamente e a discussão de tais resultados será apresentada a seguir.

De acordo com os dados coletados na pesquisa as razões unitárias de produção dessas atividades apresentaram diferenças estatisticamente significativas quando avaliadas em relação a metodologia (*lean* x tradicional).

Observa-se pela ótica da metodologia, que a adoção das ferramentas do *lean construction* para todas essas atividades trouxe melhora nos índices produtivos. De acordo com o proposto pela metodologia da pesquisa e conforme o relatado pelo gestor da obra, as modificações existentes com a adoção das ferramentas do *lean construction* atuaram em três pilares:

- readequação do layout do canteiro de obras: atuou para a redução nos tempos de movimentação dos insumos e da mão de obra para a execução das atividades;

- reestruturação dos procedimentos operacionais das atividades: atuou para adequar os procedimentos operacionais da empresa aos fluxos de trabalho necessários ao empreendimento, buscando a redução dos tempos gastos em atividades que não agreguem valor, tais como transporte e espera;
- adoção da programação de trabalho em equipe (last planner system): atuou para adequar as etapas de execução do empreendimento ao planejamento previamente executado, além de permitir o alinhamento técnico entre os gestores do empreendimento e a mão obra antes do início de cada atividade.

Essas intervenções foram realizadas para todas as atividades. Erol, Dikmen e Birgonul (2017), ressaltam em sua pesquisa que por meio da aplicação das ferramentas do *lean construction* nos canteiros de obras pode-se obter redução do tempo de entrega do projeto e reduzir a variabilidade do fluxo de trabalho. De acordo com o relatado pelo gestor da obra, tais intervenções geraram a redução da variabilidade do fluxo de trabalho e as seguintes consequências em cada uma das atividades:

- Fôrmas: definição prévia do projeto de corte e montagem das fôrmas e escoramentos, diminuindo os tempos de espera e adequações.
- Armação: armazenagem dos materiais sem necessitar de movimentação de outras barras de aço para o seu uso e a definição prévia do projeto de montagem das armações, diminuindo os tempos de espera e adequações.
- Chapisco Interno: redução no tempo gasto para o deslocamento dos materiais, diminuindo os tempos de espera e aumento na qualidade do substrato onde seria aplicado o chapisco, uma vez que a alvenaria e a estrutura executadas adotando as ferramentas do *lean construction* apresentaram melhor qualidade.
- Emboço/reboco interno: a readequação dos locais de armazenagem dos insumos utilizados e maior qualidade nas alvenarias e chapisco interno, com maior planicidade e continuidade auxiliaram na redução da espessura do reboco/emboço, diminuindo os tempos de execução, espera e adequações.
- Emboço/reboco externo: as equipes executavam o reboco externo nos pontos mais altos da fachada, circulando-a por completo e descendo os níveis de execução do reboco conforme iam concluindo a execução de todas as fachadas. Isso diminuiu os tempos de execução, espera e adequações, além de gerar maior segurança para a realização da atividade, com a adoção de andaimes fachadeiros distribuídos em todas as fachadas da edificação. Além disso, a maior

qualidade nas alvenarias e chapisco externo, com maior planicidade e continuidade auxiliaram na redução da espessura do reboco/emboço.

- Assentamento de revestimentos: as paginações foram todas definidas em conjunto com a equipe técnica da obra, com os funcionários trabalhando nas mesmas áreas, aumentando a eficiência na execução de cada parte da atividade e reduzindo a perda por recortes.

Em estudos sobre a adoção de ferramentas do *lean construction*, como o de Murgia, Brioso e Pimentel (2016), é apresentado que a melhoria no método de entrega dos insumos, ou seja, a redução dos tempos gastos em atividades que não agregam valor e a utilização de atividades que adotem sistemas de melhoria continua podem auxiliar em ganhos produtividade e conforme citado por Ogunbiyi, Oladapo e Goulding (2013), as ferramentas do *lean construction* visam eliminar o desperdício em todas as atividades, com o intuito de reduzir o ciclo do processo, melhorar a qualidade dos produtos e aumentar a eficiência. A melhora na produtividade obtida para as atividades avaliadas corrobora com tais afirmações. Segundo o gestor da obra e conforme pode ser observado pelos dados estatísticos já apresentados para cada uma das atividades a adoção das ferramentas do *lean construction* atuaram positivamente no contexto da eficiência produtiva, o que resultou na melhora significativa das razões unitárias de produção quando comparadas com a adoção de um sistema de gestão tradicional.

Além disso, quando comparadas as duas metodologias (tradicional x *lean*) foi observado na pesquisa uma redução dos dias trabalhados em cada uma das atividades. Conforme citado por Li *et al.* (2017), a readequação dos fluxos de trabalho pode ocasionar a redução na dispersão das medidas de produtividade. De acordo com os autores, por meio da aplicação das ferramentas do *lean construction* é possível incrementar a eficiência nos postos de trabalho, aumentando a produtividade e o desempenho da mão de obra e consequentemente reduzir os tempos de execução das atividades.

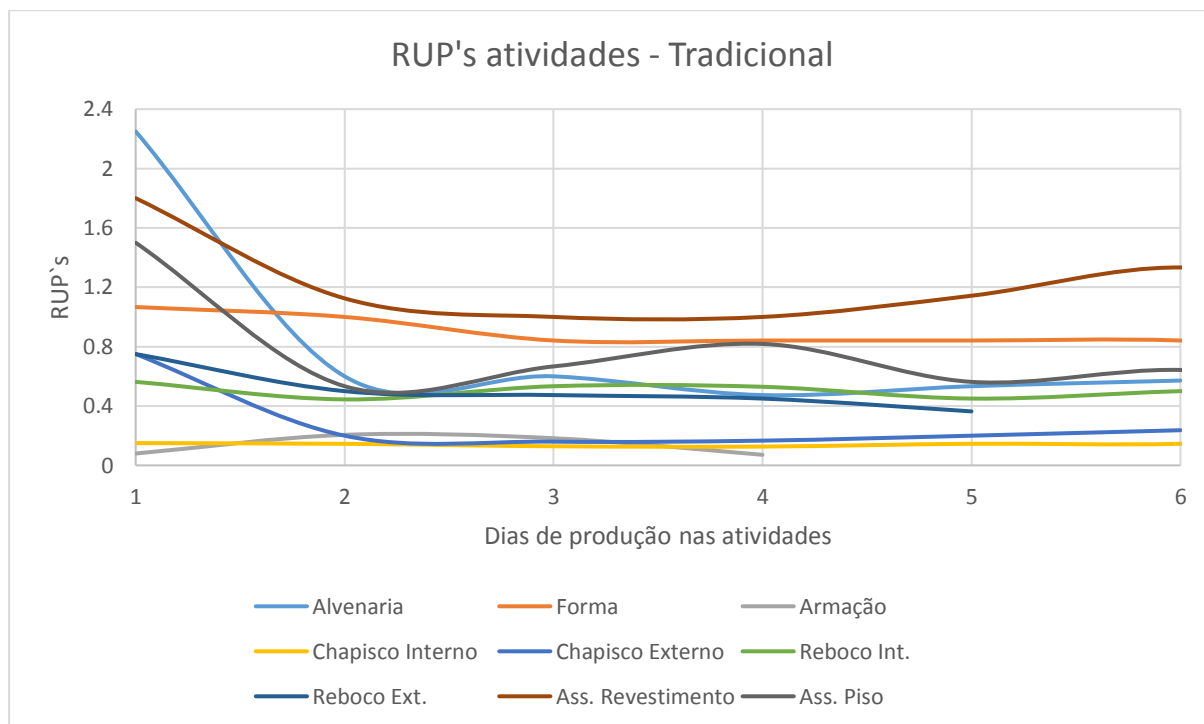
Dessa forma, percebe-se que a aplicação das ferramentas do *lean construction* para as atividades avaliadas trouxe benefícios em relação à produtividade quando comparado a execução das mesmas atividades adotando o sistema de gestão tradicional. Estudos como o de Al-aomar (2012), ressaltam em sua pesquisa que dentre as várias melhorias que podem ser obtidas com a aplicação das ferramentas do *lean construction* tem-se: melhora na qualidade do produto, redução no tempo de produção, melhoria do processo construtivo e mais segurança no canteiro de obra, tais como foram encontradas para as atividades avaliadas nessa pesquisa.

5.2.11 Relação entre produtividade e dias produtivos

Conforme já explicitado a adoção das ferramentas do *lean construction* para toda as atividades avaliadas trouxe melhora nos índices produtivos. Nesse contexto, porém, o comportamento das atividades em decorrência dos dias produtivos não foi avaliado.

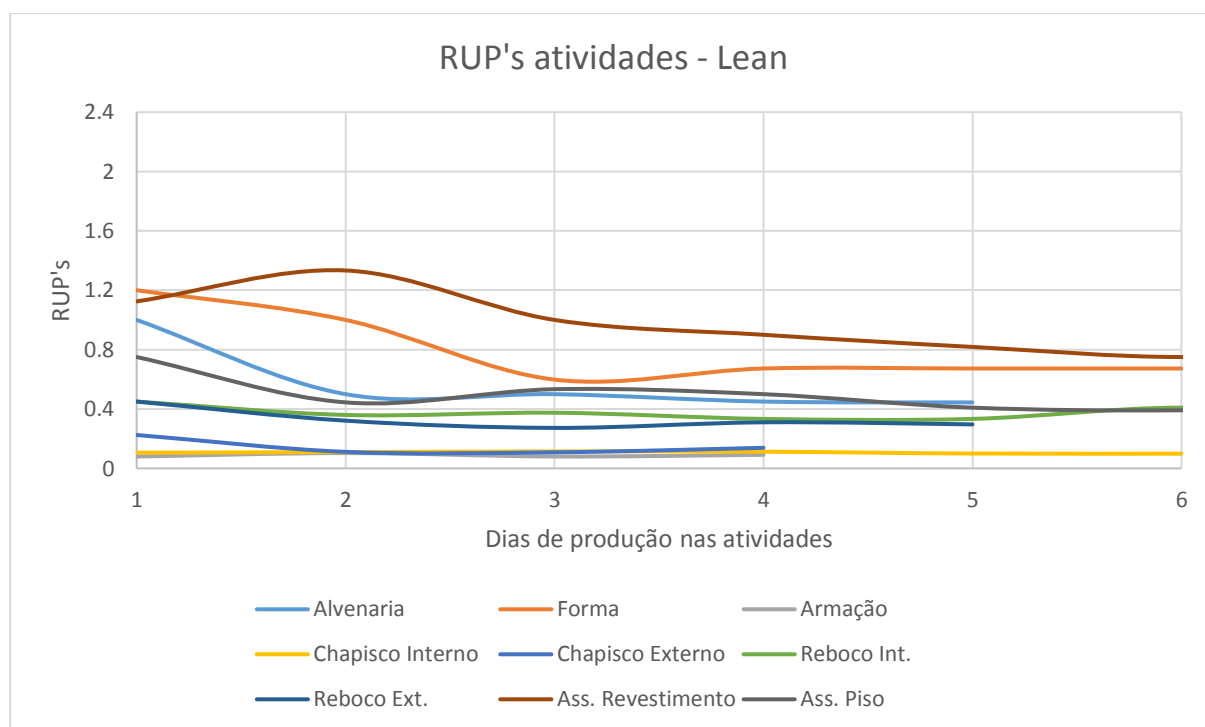
Com o intuito de avaliar o comportamento das razões unitárias de produção das atividades avaliadas em relação aos dias de produção sob o método de gestão tradicional e aplicando as ferramentas do *lean construction* foram executados os gráficos apresentados nas Figuras 14 e 15, respectivamente.

Figura 14 – Curva de comportamento das atividades avaliadas adotando o método de gestão tradicional



Fonte: o autor

Figura 15 – Curva de comportamento das atividades avaliadas adotando as ferramentas do *lean construction*



Fonte: o autor

Observando a curva de comportamento apresentada na Figura 14, percebe-se que nos primeiros dias das atividades são obtidos valores de RUP's altos, ou seja, sob o método de gestão tradicional os índices de produtividade iniciais são baixos (RUP's inversamente proporcionais à produtividade). De acordo com Hermes (2015), as várias etapas de um mesmo processo produtivo podem gerar índices de produtividade diferentes, visto que, algumas etapas do processo produtivo podem ser mais detalhadas ou possuírem maior complexidade.

Tal fator foi observado nas atividades avaliadas na pesquisa. De acordo com o relatado pelo gestor da obra o que influencia a produtividade é o seu dia de início, sendo que, os dias iniciais de execuções dessas atividades possuíam baixos índices produtivos, sejam eles por complexidade das etapas construtivas ou pela necessidade de maior tempo para organização inicial das atividades.

Nesse cenário, a adoção das ferramentas do *lean construction* atuaram como mitigadoras dessa variabilidade inicial existente para as atividades avaliadas. Tal comportamento pode ser observado na Figura 15, visto que, sob o *lean construction* a média das RUP's coletadas para as atividades avaliadas apresenta menor valor numérico nos dias iniciais, ou seja, existiu redução de variabilidade nos índices de produtividade nos primeiros dias produtivos.

Em estudos sobre as vantagens da adoção de ferramentas do *lean construction*, como o de Limon (2015), é apresentado que com a reorganização dos insumos no canteiro de obras e com a adequação das atividades à procedimentos padrões de execução é possível obter redução no tempo de projeto, melhora na qualidade da atividade e maior cooperação entre os envolvidos no processo construtivo, tais como foram obtidos nesse trabalho. De acordo com o gestor da obra sob o sistema de gestão tradicional os fluxos produtivos das atividades eram realizados de acordo com a experiência do profissional, o que acarretava baixos índices de produtividade nos inícios das tarefas. Após a aplicação dos treinamentos e da utilização das ferramentas do *lean construction*, os funcionários adotaram um processo operacional padrão com aumento da eficiência produtiva, redução da variabilidade inicial nos índices de produtividade e consequente redução nas razões unitárias de produção obtidas e no número de dias trabalhados para a execução das mesmas atividades.

5.3 RESÍDUOS

Foi realizada a avaliação dos resíduos gerados durante a execução do empreendimento pelos dois métodos: sistema de gestão tradicional e sob a adoção das ferramentas do *lean construction*. A coleta dos dados sobre os resíduos foi realizada por meio da mensuração da quantidade de caçambas coletadas durante a execução das atividades previstas para a construção de cada unidade habitacional. Cada caçamba possui capacidade para armazenar 5m³ de entulho, sendo assim, foi contabilizado como resíduo gerado o produto entre a quantidade de caçambas e o volume de cada uma. A coleta de tais informações foi feita sob supervisão do gestor da obra ao final de cada etapa executiva do empreendimento.

O volume de resíduos gerados foi avaliado pelo gestor da obra após a conclusão de cada atividade. A Tabela 34 apresenta os volumes de resíduos gerados em cada atividade sob a metodologia de gestão tradicional e com a adoção de ferramentas do *lean construction* e a diferença percentual entre os volumes de resíduos gerados entre as duas metodologias (tradicional x *lean construction*).

Tabela 34 – Volume de resíduos para a metodologia tradicional e com a adoção de ferramentas do *lean construction*

Atividades	Volume de Resíduos		
	Volume de Resíduos - Tradicional (m³)	Volume de Resíduos - Lean Construction (m³)	Diferença Percentual entre o Lean e o Tradicional
Elevação de Alvenaria	16,98	13,87	-18,32%
Fôrmas	9,92	9,69	-2,35%
Armação	0,00	0,00	0,00%
Chapisco Interno	6,30	5,96	-5,35%
Chapisco Externo	6,98	6,36	-8,77%
Emboço/reboco Interno	6,07	5,94	-2,11%
Emboço/reboco Externo	9,32	8,69	-6,75%
Assentamento de revestimentos	6,78	6,43	-5,20%
Assentamento de pisos	5,93	5,43	-8,44%
TOTAL	68,27	64,37	-5,71%

Fonte: o autor.

Conforme pode ser observado na Tabela 34, nas atividades de: elevação de alvenaria, fôrmas, chapisco interno, chapisco externo, emboço/reboco interno, emboço/reboco externo, assentamento de revestimentos e assentamento de pisos ocorreu redução no volume de resíduos gerados. Também pode ser observado que a atividade de armação não produziu volumes mensuráveis de resíduos em nenhuma das duas metodologias (tradicional x *lean construction*).

De acordo com informações apresentadas pelo gestor da obra, a redução nos volumes de resíduos gerados com a aplicação das ferramentas do *lean construction*, ocorreu devido a dois principais fatores: readequação do layout de armazenagem dos insumos e reestruturação dos procedimentos operacionais das atividades avaliadas.

Com a adequação do layout de obras foi priorizado a redução na movimentação dos insumos desde o seu recebimento até sua utilização. Tal observação é retratada por Emuze e Smallwood (2013), onde os autores afirmam que a adoção de ferramentas do *lean construction* deve atuar na eliminação de resíduos e na eliminação de tarefas desnecessárias enquanto se concentra nas operações de construção que agregam valor com o objetivo de garantir o fluxo ininterrupto de atividades.

Com a reestruturação dos procedimentos operacionais das atividades foi possível manter fluxos de trabalhos contínuos e reduzir o tempo gasto com atividades que não agregam valor ao produto. De acordo com o relatado pelo gestor da obra o planejamento e os controles adotados definiram critérios mais rigorosos, segundo os quais, o desperdício de materiais ou de tempo era sempre minimizados. Conforme citado por, Aziz e Hafez (2013), na aplicação das ferramentas do *lean construction*, o planejamento e o controle

das atividades são considerados processos complementares e dinâmicos mantidos durante o andamento do projeto e responsáveis pela redução de perdas, tais como foram obtidos no trabalho.

Conforme pode ser observado na Tabela 34, foram registrados, sob o acompanhamento do gestor da obra, um volume de resíduos de 68,27m³ aplicando o método de gestão tradicional enquanto foram registrados um volume de resíduos de 64,37m³ utilizando as ferramentas do *lean construction*, uma redução de 5,71% no volume de resíduos gerados. A aplicação das ferramentas do *lean construction* geram entre seus benefícios redução na produção de resíduos, visto que, as atividades construtivas são elaboradas para serem executadas da maneira mais eficiente possível (AYALEW, DAKHLI, LAFHAJ, 2016; HERMES, 2015; LI *et al.*, 2017; LIMON, 2015; MINAS, 2016; OGUNBIYI, OLADAPO, GOULDING, 2013; TEZEL, A. NIELSEN, 2013).

5.4 SÍNTESE: INSUMOS E PRODUTIVIDADE

Foi realizada a avaliação das atividades de elevação de alvenaria, fôrmas, armação, chapisco interno e externo, emboço/ reboco interno e externo e assentamentos de pisos e revestimentos quanto ao consumo de insumos e quanto à produtividade, relacionando o método de gestão tradicional e a adoção de ferramentas do *lean construction*. Tais avaliações foram apresentadas com detalhes nos tópicos 5.1 e 5.2 do trabalho. Afim de facilitar a avaliação dos resultados, são apresentadas as Tabelas: 35 a 38.

Na Tabela 35 são apresentados todos os insumos utilizados para cada uma das atividades avaliadas, adotando o método de gestão tradicional e adotando as ferramentas do *lean construction*. Pode-se observar na Tabela 35 que nas atividades de elevação de alvenaria, chapisco interno e externo, emboço/reboco interno e externo, assentamento de revestimentos e assentamento de pisos houveram reduções no consumo dos insumos.

Conforme citado por Ahiakwo *et al.* (2013), Al-aomar (2012), Alsehaimi, Tzortzopoulos e Koskela (2009), Andersen, Belay e Seim (2012), Hermes (2015) e Ogunbiyi, Oladapo e Goulding (2013), dentre os benefícios que a aplicação das ferramentas do *lean construction* podem gerar encontra-se a redução no consumo de insumos, tais como foram obtidos nesse trabalho. Dentre as justificativas para a redução no consumo de insumos tem-se: maior organização nos canteiros de obras (DIXIT *et al.*, 2017), execução de atividades com maior qualidade (KO, 2010) e redução nas atividades que não agregam valor no canteiro de obras (HERMES, 2015).

Tabela 35 – Insumos utilizados nas atividades avaliadas nas duas metodologias (tradicional x *lean construction*)

Atividades	Insumos	Tradicional	Lean Construction	Variação entre Lean e Tradicional
Elevação de Alvenaria	Tijolos (unid)	12520	11890	-5,03%
	Areia (m ³)	24,7	23,6	-4,45%
	Cimento (sacos)	115	112	-2,61%
	Cal (sacos)	276	269	-2,54%
Fôrmas	Tábuas (m ²)	72	72	0,00%
	Madeirites (unid)	28	28	0,00%
	Pontaletes (unid)	76	76	0,00%
	Pregos (Kg)	5	4	-20,00%
Armação	Aço (Kg)	2352	2352	0,00%
Chapisco Interno e Externo	Areia (m ³)	5,99	5,36	-11,75%
	Cimento (sacos)	54	50	-10,20%
Emboço/reboco Interno e Externo	Areia (m ³)	42,46	39,39	-7,79%
	Cimento (sacos)	132	126	-4,76%
	Cal (sacos)	297	287	-3,48%
Assentamento de Revestimentos e Pisos	Revestimentos (m ²)	264,6	254,1	-4,13%
	Pisos (m ²)	285,95	273,05	-4,72%
	Argamassa ACII (sacos)	275	264	-4,17%

Fonte: o autor.

Por outro lado, as atividades de fôrmas e armação não obtiveram os mesmos níveis de redução no consumo de insumos. De acordo com o relatado pelo gestor da obra, a atividade de armação é extremamente racionalizada, segue exatamente o proposto pelo projeto estrutural. Além disso, as armações já são recebidas na obra cortadas e dobradas, ou seja, ocorre apenas a montagem dos elementos estruturais no canteiro de obras. Dessa forma, não seria possível reduzir o consumo de insumos mantendo o mesmo projeto estrutural. Quanto às fôrmas, a atividade foi executada seguindo exatamente o proposto pelo projeto estrutural, não tendo seu consumo de madeiras reduzido. Por outro lado, com a adoção do novo procedimento operacional adotado para a atividade de fôrma, onde os pregos soltos eram coletados ao final do dia, obteve-se uma redução de 20% no consumo de pregos.

Na Tabela 36 são apresentados os resultados de avaliação sobre a existência de diferença estatística significativa do fator metodologia avaliado em relação as médias das razões unitárias de produção, bem como o P-valor obtido para cada uma das atividades avaliadas. Observa-se que as atividades de elevação de alvenaria, fôrmas, armação, chapisco interno, emboço/reboco interno e externo e assentamento de pisos apresentam as médias das razões unitárias de produção significativamente diferentes quando

comparados o método de gestão tradicional e a adoção das ferramentas do *lean construction*. Observa-se também que as atividades de chapisco externo e assentamento e pisos não apresentaram diferenças significativas entre as razões unitárias de produção para as duas metodologias. Tais atividades são apresentadas em vermelho nas Tabelas 37 e 38 para facilitar sua visualização.

Tabela 36 – Avaliação estatística da diferença entre as razões unitárias de produção avaliadas nas duas metodologias (tradicional x *lean construction*)

Atividades	Fatores avaliados em relação as RUP's	P-valor (Adotado p-valor < 0,05)
	Metodologia (tradicional x <i>lean construction</i>)	
Elevação de Alvenaria	Há diferença significativa	0.00956
Fôrmas	Há diferença significativa	0.01690
Armação	Há diferença significativa	0.000143
Chapisco Interno	Há diferença significativa	0.000263
Chapisco Externo	Não há	0.130
Emboço/reboco Interno	Há diferença significativa	2.71e-14
Emboço/reboco Externo	Há diferença significativa	3.04e-05
Assentamento de revestimentos	Há diferença significativa	9.51e-05
Assentamento de pisos	Não há	0.0793

Fonte: o autor.

Na Tabela 37 são apresentadas as médias das razões unitárias de produção para as atividades avaliadas em relação a metodologia (tradicional x *lean construction*) e a variação percentual obtida entre elas. Observa-se que nas atividades de elevação de alvenaria, fôrmas, armação, chapisco interno e externo, emboço/reboco interno e externo, assentamento de revestimentos e pisos, quando adotadas as ferramentas do *lean construction*, foram obtidas médias das razões unitárias de produção menores (maior eficiência produtiva) que as obtidas adotando o método tradicional de gestão.

Ressalta-se que em todas as atividades avaliadas as médias dos índices de produtividade foram melhores com a aplicação das ferramentas do *lean construction*. Trabalhos como o de Alarcón *et al.* (2008), Ayalew, Dakhli e Lafhaj (2016), Minas (2016), Murgia, Brisoso e Pimentel (2016;), Ogunbiyi, Oladapo e Goulding (2013), Sarhan *et al.* (2017), Shou *et al.* (2017) e Vaidyanathan *et al.* (2016), afirmam que a adoção de ferramentas do *lean construction* podem gerar melhora na produtividade das atividades e na eficiência construtiva das atividades, tais como foram obtidas nesse trabalho. Com a adoção das ferramentas do *lean construction* na atividade de assentamento de pisos e

chapisco externo, obteve-se médias das razões unitárias de produção menores (maior eficiência produtiva) que as médias obtidas adotando o método de gestão tradicional. Porém nesses casos as diferenças não foram estatisticamente significativas. Dentre as justificativas para o aumento da produtividade tem-se: redução na variação dos fluxos de trabalho por meio de procedimentos operacionais padronizados (EROL; DIKMEN; BIRGONUL, 2017), e reorganização da armazenagem dos insumos no canteiro de obras (LIMON, 2015).

Tabela 37 – Média das RUP's nas atividades avaliadas nas duas metodologias (tradicional x *lean construction*)

Atividades	Médias das RUP's por Metodologia		
	Tradicional	Lean Construction	Diferença Percentual entre o Lean e o Tradicional
Elevação de Alvenaria	0,914	0,608	33,49%
Fôrmas	0,909	0,822	9,51%
Armação	0,154	0,089	42,47%
Chapisco Interno	0,170	0,106	37,55%
Chapisco Externo	0,295	0,142	51,86%
Emboço/reboco Interno	0,460	0,359	21,99%
Emboço/reboco Externo	0,439	0,331	24,60%
Assentamento de revestimentos	1,124	0,897	20,25%
Assentamento de pisos	0,645	0,498	22,78%

Fonte: o autor.

Na Tabela 38 são apresentadas o número de dias trabalhados para as atividades avaliadas em relação a metodologia (tradicional x *lean construction*) e a variação percentual obtida entre elas. Observa-se que nas atividades de elevação de alvenaria, fôrmas, armação, chapisco interno e externo, emboço/reboco interno e externo, assentamento de revestimentos e pisos, quando adotadas as ferramentas do *lean construction*, foram gastos menos dias trabalhados para a conclusão das atividades que adotando o método tradicional de gestão.

Tabela 38 – Dias trabalhados nas atividades avaliadas nas duas metodologias (tradicional x *lean construction*)

Atividades	Dias trabalhados por Metodologia		
	Tradicional	Lean Construction	Diferença Percentual entre o Lean e o Tradicional
Elevação de Alvenaria	28	23	17,86%
Fôrmas	28	24	14,29%
Armação	12	8	33,33%
Chapisco Interno	9	6	33,33%
Chapisco Externo	12	8	33,33%
Emboço/reboco Interno	26	20	23,08%
Emboço/reboco Externo	12	9	25,00%
Assentamento de revestimentos	15	12	20,00%
Assentamento de pisos	9	7	22,22%
TOTAL	151	117	22,52%

Fonte: o autor.

Ressalta-se que em todas as atividades avaliadas o tempo gasto em dias para a suas conclusões foram menores com a aplicação das ferramentas do *lean construction*. Tal redução era esperada, uma vez que os índices de produtividade de todas as atividades avaliadas aumentaram com a adoção das ferramentas do *lean construction*. Trabalhos como o de Ahiakwo *et al.* (2013), Al-aomar (2012), Alarcón *et al.* (2008), Andersen, Belay e Seim (2012), Ayalew, Dakhli e Lafhaj (2016), Erol, Dikmen e Birgonul (2016), Hermes (2015), Issa (2013) e Limon (2015), afirmam que a adoção de ferramentas do *lean construction* podem gerar redução no tempo de projeto, tais como foram obtidas nesse trabalho. Dentre as justificativas para a redução no tempo gasto para a execução das atividades tem-se: a avaliação dos sistemas de produção sob vários ângulos diferentes, com a participação de todos os envolvidos, sendo assim, capaz de identificar mais problemas antes da implementação das atividades (SEPPANEM; MODRICH; BALLARD, 2015) e a implementação das ferramentas do *lean construction* que visam reduzir todos os tipos de desperdícios (SMALL; HAMOURI; HAMOURI, 2017).

Com o intuito de facilitar a avaliação de todos os fatores apresentados nas Tabelas 36, 37 e 38 foi elaborada uma Tabela no Apêndice I do trabalho que engloba todos os dados existentes em tais tabelas.

6 CONCLUSÕES

Esta pesquisa objetivou identificar e avaliar quantitativamente os benefícios obtidos pela implantação de ferramentas do *lean construction* na execução de determinadas atividades de construção em habitações residenciais unifamiliares.

Por meio de uma avaliação do estado da arte sobre o *lean construction* foi observado que as ferramentas mais utilizadas são: sistema de gestão de qualidade total, adoção de sistemas de gestão visual e programação de trabalho em equipes por meio de reuniões gerenciais (*last system planner*). Dentre as vantagens da aplicação de tais ferramentas encontram-se o aumento da eficiência produtiva, a redução no consumo de insumos e a redução na produção de resíduos.

Para a pesquisa as atividades avaliadas foram aquelas que apresentaram maior representatividade na curva ABC de custos. Foram elas: fôrmas, elevação de alvenaria, armação, chapisco interno e externo, emboço/reboco interno e externo, assentamento de revestimentos e assentamento de pisos. Tais atividades compreendem as atividades de maior custo e que estão no caminho crítico de execução da obra.

De acordo com a avaliação das razões unitárias de produção de tais atividades pôde-se perceber que a adoção das ferramentas do *lean construction* geraram melhora estatisticamente comprovada nos índices de produtividade se comparadas ao método de gestão tradicional. Vários foram os fatores que contribuíram para tal resultado, mas pode-se ressaltar a redução na variabilidade dos fluxos de trabalho por meio da eliminação de tarefas que não agregam valor ao produto como o mais importante para tal diferença.

Ressalta-se que apenas para a atividade de assentamento de pisos e chapisco externo não ocorreu diferença significativa nos índices de produtividade entre os dois métodos. Tal fator ocorreu pelo fato das atividades possuírem alto índice produtivo nos dois métodos. Nesse cenário, a adoção das ferramentas do *lean construction* auxiliaram na melhora numérica dos índices de produtividade, mas não foram suficientes para gerar melhora nos índices de produtividade que fossem estatisticamente significativas.

Pela ótica de avaliação das equipes, foi observado que não existiu diferença significativa de produtividade entre elas para nenhuma das atividades. Tal fator mostra que as equipes apresentaram índices de produtividade equilibrados independente da metodologia adotada e indica a capacidade de aprendizado das equipes sobre a adoção das ferramentas do *lean construction*. Tal aprendizado foi transposto à prática das atividades conforme foi demonstrado pelo aumento de produtividade obtido pelas duas equipes para a execução das atividades avaliadas e pela não diferença entre tais equipes

quando comparados o sistema de gestão tradicional e a adoção das ferramentas do *lean construction*.

Sob a ótica de geração de resíduos e de consumo de insumos, por meio da adoção das ferramentas do *lean construction* foi possível reduzir os dois índices. Para os resíduos foi observado um volume de resíduos de 68,27m³ aplicando o método de gestão tradicional enquanto foram registrados um volume de resíduos de 64,37m³ utilizando as ferramentas do *lean construction*, uma redução de 5,71% no volume de resíduos gerados. Para o consumo de insumos existiu redução nas atividades de elevação de alvenaria, chapisco interno e externo, emboço/reboco interno e externo, assentamento de revestimentos, fôrmas e assentamento de pisos. Apenas para a atividade de armação que o consumo de insumos foi o mesmo, visto que, o aço já era recebido na obra nas duas metodologias cortado e dobrado, cabendo à equipe realizar apenas sua montagem.

Sendo assim, a pesquisa ressalta que a aplicação das ferramentas do *lean construction* apresentaram melhoras estatisticamente comprovadas nas razões unitárias de produção das atividades avaliadas e redução de 22,52% nos dias gastos para a execução de uma mesma unidade residencial, comprovando quantitativamente que para o cenário avaliado a adoção das ferramentas do *lean construction* foi viável e mais eficiente que a adoção do método de gestão tradicional.

7 TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa objetivou identificar e avaliar quantitativamente os benefícios obtidos pela implantação de ferramentas do *lean construction* em atividades para a execução de unidades residenciais de pequeno porte. Tal tipo de edificação gerou uma série de restrições e limitações quanto ao conteúdo dos dados avaliados. Foram limitações observadas na pesquisa: a quantidade de dados obtidos, as atividades avaliadas e o tempo de execução das atividades.

Dada tais limitações, são propostos trabalhos futuros que avaliem a produtividade sobre outras óticas de observação. São propostos como trabalhos futuros:

- Avaliação quantitativa em outras unidades residenciais: a avaliação dos índices de produtividade, do consumo de insumos e geração de resíduos em outras tipologias construtivas, sejam elas residenciais ou comerciais e em outras localidades.
- Avaliação de obras de maior porte: realização da avaliação estatística em outras unidades de maior porte construtivo, onde as atividades tenham longas durações. O tempo de execução das atividades nessa pesquisa foi um fator limitante para as análises, visto que, os tempos de execução de todas as atividades eram curtos. Dessa forma, novos estudos avaliando atividades de longa duração poderiam mostrar a influência real nos índices de produtividade em um outro contexto construtivo, tais como grandes edifícios ou condomínios horizontais.
- Confirmação estatística da melhora nos índices de produtividade sob a aplicação das ferramentas do *lean construction*: como a pesquisa foi realizada durante um mestrado, o tempo disponível foi suficiente para a coleta de dados em apenas duas edificações residenciais. Propõem-se estudos de longa duração, onde possam ser repetidas inúmeras vezes as mesmas unidades residenciais, de forma que, possam ser coletados um número maior de dados para comparação estatística, bem como permitir comparar a evolução da eficiência produtiva das equipes com o passar do tempo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABHIRAM, P. ASADI, S.S. PRASAD, A.V.S. Implementation of Lean methodology in Indian construction. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, v. 7, n. 6, p. 641–649, 2016.

ABIKO, Alex Kenya MARQUES, Felipe Silveira CARDOSO, Francisco Ferreira TIGRE, Paulo Bastos. *Setor de construção civil: segmento de edificações*. . Brasília: [s.n.], 2005.

AFONSO, Michele Hartmann Feyh SOUZA, Juliane Vieira De ENSSLIN, Sandra Rolim ENSSLIN, Leonardo. Como Construir Conhecimento Sobre O Tema De Pesquisa: Aplicação Do Processo Proknow-C Na Busca De Literatura Sobre Avaliação Do Desenvolvimento Sustentável. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 5, n. 2, p. 47–62, 2012. Disponível em: <<http://www.revistargsa.org/ojs/index.php/rgsa/article/view/424>>.

AHIAKWO, O. OLOKE, D. SURESH, S. & KHATIB, J. A Case Study of Last Planner System Implementation in Nigeria. 2013, Fortaleza, Brazil: IGLC, 2013. p. 699–707.

AHUJA, Ritu SAWHNEY, Anil ARIF, Mohammed. Driving lean and green project outcomes using BIM: A qualitative comparative analysis. *International Journal of Sustainable Built Environment*, v. 6, n. 1, p. 69–80, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212609016300991>>.

AL-AOMAR, R. Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry. *Lean Construction Journal*, v. 2012, p. 105–121, 2012.

ALARCON, L.F. DIETHELMAND, S. & ROJO, S. Collaborative Implementation of Lean Planning Systems in Chilean Construction Companies. 2002, Gramado, Brazil: International Group for Lean Construction, 2002. p. 1–11.

ALARCÓN, L F DIETHELM, S ROJO, O CALDERÓN, R. Assessing the impacts of implementing lean construction. *Revista Ingenieria de Construcción*, Cited By:28Export Date: 29 October 2018, v. 23, n. 1, p. 26–33, 2008. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85012967856&partnerID=40&md5=a37d2a811d75b969ed84311163abb8ce>>.

ALINAITWE, Henry Mwanaki. Prioritising Lean Construction Barriers in Uganda's Construction Industry. *Journal of Construction in Developing Countries*, v. 14, n. 1, p. 15–30, 2009. Disponível em: <[http://web.usm.my/jcdc/vol14_1_2009/2_Henry_\(p.15-30\).pdf](http://web.usm.my/jcdc/vol14_1_2009/2_Henry_(p.15-30).pdf)>.

ALSEHAIMI, A. TZORTZOPOULOS, P. & KOSELA, L. Last Planner System: Experiences from Pilot Implementation in the Middle East. 2009, Taipei, Taiwan: International Group for Lean Construction, 2009. p. 53–66.

ALSEHAIMI, A.O. FAZENDA, P.T. KOSKELA, L. Improving construction management practice with the Last Planner System: A case study. *Engineering, Construction and Architectural Management*, v. 21, n. 1, p. 51–64, 2014.

ANDERSEN, B. BELAY, A. M. SEIM, E. M. Lean Construction Practices and its Effects: A case at St Olav's Integrated Hospital, Norway. *Lean Construction Journal*, p. 122–149, 2012.

- ANSAH, R.H. SOROOSHIAN, S. Effect of lean tools to control external environment risks of construction projects. *Sustainable Cities and Society*, v. 32, p. 348–356, 2017.
- AYALEW, T. M. DAKHLI, Z. M. LAFHAJ, Z. The Future of Lean Construction in Ethiopian Construction Industry. *International Journal of Engineering Research & Technology*, v. 5, n. 02, p. 107–113, 2016.
- AZEVEDO, Rogério Cabral De ENSSLIN, Leonardo JUNGLES, Antônio Edésio. A Review of risk management in construction - Opportunities for improvement. *Modern Economy*, v. 5, p. 367–383, 2014.
- AZEVEDO, ROGÉRIO CABRAL. *Estatística aplicada para estudantes de engenharias Um guia prático*. [S.l: s.n.], 2020.
- AZIZ, Remon Fayek HAFEZ, Sherif Mohamed. Applying lean thinking in construction and performance improvement. *Alexandria Engineering Journal*, v. 52, n. 4, p. 679–695, dez. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S111001681300046X>>. Acesso em: 11 out. 2018.
- AZIZ, Zeeshan ARAYICI, Yusuf. Driving innovation through Lean- and BIM-based theory and practice. *Engineering, Construction and Architectural Management*, Compilation and indexing terms, Copyright 2018 Elsevier Inc., v. 25, n. 10, p. 1254, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/ECAM-11-2018-274>>.
- BAJJOU, M.S. CHAFI, A. Lean construction implementation in the Moroccan construction industry: Awareness, benefits and barriers. *Journal of Engineering, Design and Technology*, v. 16, n. 4, p. 533–556, 2018.
- BAJJOU, Mohamed Saad CHAFI, Anas EN-NADI, Abdelali. A Comparative Study between Lean Construction and the Traditional Production System. *International Journal of Engineering Research in Africa*, v. 29, p. 118–132, 2017. Disponível em: <<http://www.scientific.net/JERA.29.118>>.
- BALLARD, H.G. *The Last Planner System of Production Control*. 2000. The University of Birmingham, 2000. Disponível em: <<http://www.leanconstruction.dk/media/15590/ballard2000-dissertation.pdf>>.
- BELAYUTHAM, Sheila GONZÁLEZ, Vicente A. YIU, Tak Wing. Clean-Lean Administrative Processes: A Case Study on Sediment Pollution during Construction. *Journal of Cleaner Production*, v. 126, p. 134–147, 2016.
- CÁRDENAS, L F A ARMINANA, E P. A new management focus: Lean construction . *Revista de Obras Públicas*, Cited By :2Export Date: 29 October 2018, v. 156, n. 3496, p. 45–52, 2009. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-61349114822&partnerID=40&md5=d4d06fdf18f7d3e47e31a7ad3abe3b4b>>.
- DE CARVALHO, A.C.V. GRANJA, A.D. DA SILVA, V.G. A systematic literature review on integrative lean and sustainability synergies over a building's lifecycle. *Sustainability (Switzerland)*, v. 9, n. 7, 2017.

DIXIT, S MANDAL, S N SAWHNEY, A SINGH, S. Area of linkage between lean construction and sustainability in indian construction industry. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, v. 8, n. 8, p. 623–636, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85028312536&partnerID=40&md5=de36c5d06517689354290494ebf01074>>.

DOS SANTOS, C. M AZEVEDO, Rogério Cabral. Selection and Analysis of Bibliographical Research Set of Disaster Risk Assessment Using ProKnow-C. v. 7, n. 82, p. 64–70, 2018.

DUTRA, Ademar RIPOLL, Vicente M ENSSLIN, Sandra FILLOL, Arturo Giner ENSSLIN, Leonardo. The construction of knowledge from the scientific literature about the theme seaport performance evaluation. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 64, n. 2, p. 243–269, 2015.

EMUZE, F & SMALLWOOD, J. The integration of Health and Safety (H&S), lean and sustainability in Construction: a literature review. 2013, Fortaleza, Brazil: IGLC, 2013. p. 853–862.

ENDEAVOR. *Uma espiada na grama do vizinho, ou: como fazer benchmarking*. Disponível em: <<https://endeavor.org.br/estrategia-e-gestao/benchmarking/>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

ENSHASSI, A. MOHAMED, S. MUSTAFA, Z.A. MAYER, P.E. Factors affecting labour productivity in building projects in the Gaza Strip. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 13, n. 4, p. 245–254, 2007.

ENSSLIN, Leonardo ENSSLIN, Sandra Rolim. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. *Gestão & Produção*, v. 19, p. 59–78, 2012.

ENSSLIN, Leonardo GRAZIANO, Luiz Antonio Giardino DUTRA, Ademar DEZEM, Vinicius. Construção de Conhecimento sobre o Tema Avaliação de Desempenho da Comunicação em Órgãos. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 64, p. 243–269, 2015.

EROL, H. DIKMEN, I. BIRGONUL, M.T. Measuring the impact of lean construction practices on project duration and variability: A simulation-based study on residential buildings. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 23, n. 2, p. 241–251, 2017.

EROL, H DIKMEN, I. BIRGONUL, T.M. Measuring the Impact of Lean Construction Practices on Project Duration and Variability: A Simulation-based Study on Residential Buildings. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 23, n. 2, p. 241–251, 2016.

FERCOQ, Alain LAMOURI, Samir CARBONE, Valentina. Lean/Green integration focused on waste reduction techniques. *Journal of Cleaner Production*, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.107>>.

FERNANDEZ, Jaqueline Aparecida Bória. *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil*. [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7669>>.

FORMOSO, Carlos T. CESARE, Cláudia M. De LANTELME, Elvira M. V. SOIBELMAN, Lucio. As perdas na construção civil: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor. *Revista da Escola de Engenharia, Porto Alegre*, v. 25, n. 3, p. 45–50, 1997.

GAO, Shang LOW, Sui Pheng. The Last Planner System in China's construction industry — A SWOT analysis on implementation. *International Journal of Project Management*, v. 32, n. 7, p. 1260–1272, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786314000039>>.

GARZA-REYES, Jose Arturo. Lean and green – a systematic review of the state of the art literature. *Journal of Cleaner Production*, v. 102, p. 18–29, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615004394>>.

GHODDOUSI, P. HOSSEINI, M.R. A survey of the factors affecting the productivity of construction projects in Iran. *Technological and Economic Development of Economy*, v. 18, n. 1, p. 99–116, 2012.

GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4ª ed. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2002.

GREEN, Sally. Evidence Based Medicine And Health care Systematic reviews and meta-analysis. *Singapore Med Journal*, v. 46, n. 6, p. 270–274, 2005.

HAREA, Cristina Veres MARIAN, Liviu MOICA, Sorina AL-AKEL, Karam. Case study concerning 5S method impact in an automotive company. *Procedia Manufacturing*, v. 22, p. 900–905, 1 jan. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918304232>>. Acesso em: 26 jul. 2019.

HASAN, Abid BAROUDI, Bassam ELMUALIM, Abbas RAMEEZDEEN, Raufdeen. Factors affecting construction productivity: a 30 year systematic review. *Engineering, Construction and Architectural Management*, v. 25, n. 7, p. 916–937, 2018.

HERMES, M. Prefabrication & Modularization as a Part of Lean Construction - Status Quo in Germany. 2015, Perth, Australia: IGLC, 2015. p. 235–245.

IBGE. *PARTICIPAÇÃO (%) NO PRODUTO INTERNO BRUTO - SEGUNDO AS ATIVIDADES*. [S.l.]: CBIC. , 2019

IBRAHIM, A.R.B. ROY, M.H. AHMED, Z. IMTIAZ, G. An investigation of the status of the Malaysian construction industry. *Benchmarking*, v. 17, n. 2, p. 294–308, 2010.

ISSA, Usama Hamed. Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time. *Alexandria Engineering Journal*, v. 52, n. 4, dez. 2013. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1110016813000641>>. Acesso em: 11 out. 2018.

JAMIL, Ahmad Huzaimi Abd FATHI, Mohamad Syazli. The Integration of Lean Construction and Sustainable Construction: A Stakeholder Perspective in Analyzing Sustainable Lean Construction Strategies in Malaysia. *Procedia Computer Science*, v. 100, p. 634–643, 2016.

- Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050916323730>>. Acesso em: 11 out. 2018.
- JOBIM, M. S. S. OLIVEIRA, G. G. ROSA, M. M. ROMAN, H. Critérios para a seleção tecnológica na construção civil. 2006, [S.l: s.n.], 2006. p. 371–380.
- KASIRAMKUMAR, T. INDHU, B. An implementation framework for integrated lean construction system for Indian scenario. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 11, n. 15, p. 9388–9394, 2016.
- KO, C.-H. Application of lean production system in the construction industry: An empirical study. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 5, n. 2, p. 71–77, 2010.
- KOSKELA L. Lean production in construction. 1993, [S.l: s.n.], 1993.
- KOSKELA, Lauri. Application of the new production philosophy to construction. *Center for Integrated Facility Engineering*, p. 1–81, 1992.
- KOSKENVESA, Anssi KOSKELA, Lauri TOLONEN, Teuvo SAHLSTEDT, Satu. Waste and labor productivity in production planning case finnish construction industry. 2010, [S.l: s.n.], 2010. p. 477–486.
- KRUPKA, Dan C. Time as a Primary System Metric. *Heim, Joseph A. & Compton, W. Dale (ed.). 1992. Manufacturing systems: foundations of world-class practice. National Academy Press, Washington, DC., 1992. , p. 166–172.*
- LI, Shuquan WU, Xiuyu ZHOU, Yuan LIU, Xin. A study on the evaluation of implementation level of lean construction in two Chinese firms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 71, p. 846–851, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116311650>>.
- LIM, EC C. ALUM, Jahidul. Construction productivity: Issues encountered by contractors in Singapore. *International Journal of Project Management*, v. 13, n. 1, p. 51–58, 1995.
- LIMON, D. *Measuring Lean Construction: A Performance Measurement Model Supporting the Implementation of Lean Practices in the Norwegian Construction Industry*. . Norway: Deoartment of Production and Quality Engineering, Norwegian University of Science and Technology. , 2015
- MARCONI, Marina de Andrade LAKATOS, Eva Maria. *Fundamentos de metodologia científica*. 5ª ed. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2003.
- MARHANI, M.A. BARI, N.A.A. AHMAD, K. JAAPAR, A. The implementation of lean construction tools in Malaysia. *Chemical Engineering Transactions*, v. 63, p. 289–294, 2018.
- MARHANI, Mohd Arif JAAPAR, Aini BARI, Nor Azmi Ahmad. Lean Construction: Towards Enhancing Sustainable Construction in Malaysia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 68, p. 87–98, 2012. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042812056923>>.

MATTOSINHO, C. PIONÓRIO, P. Aplicação da Produção Mais Limpa na Construção Civil: Uma Proposta de Minimização de Resíduos na Fonte. *International workshop advances in cleaner production*, p. 10, 2009.

MAYER, P. C. MACIEL, A. C. BAGGIO, D. K. SIEDENBERG, D. R. Implantação de metodologia de análise do valor agregado em uma indústria metalúrgica de produtos sob encomenda. *GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 10, n. 1, p. 177–195, 2015.

MINAS, M. *A Framework for Improving Construction Project Performance in Ethiopia using ean Construction*. . Addis Ababa, Ethiopia: [s.n.], 2016.

MOHAMMED, Ali Saleh Ahmad TIBEK, Siti Rugayah Hj ENDOT, Ideris. The Principles of Total Quality Management System in World Islamic Call Society. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 102, p. 325–334, 22 nov. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042813042833>>. Acesso em: 26 jul. 2019.

MURGUIA, D. BRIOSO, X. PIMENTEL, A. Applying Lean Techniques to Improve Performance in the Finishing Phase of a Residential Building. 2016, Boston, Ma, USA: IGLC, 2016. p. 43–52.

MURMAN, E. ALLEN, T. BOZDOGAN, K. CUTCHER, J. G. MCMANUS, H. NIGHTINGALE, D. REBENTISCH, E. T., Shields F., Stahl M., Walton WARMKESSEL WEISS, J. S. & WIDNALL, S. *Lean enterprise value: Insights from MITs lean aerospace initiative*. . Palgrave, New York.: [s.n.], 2002.

NAGAPAN, S. RAHMAN, I. A. ASMI, A. Factors contributing to physical and non-physical waste generation in construction industry. *International Journal of Advances in Applied Sciences*, n. 1, p. 1–10, 2012.

NIAL, Piercy NICK, Rich. The relationship between lean operations and sustainable operations. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 35, n. 2, p. 282–315, 2015.

NIKAKHTAR, A. HOSSEINI, A.A. WONG, K.Y. ZAVICHI, A. Application of lean construction principles to reduce construction process waste using computer simulation: A case study. *International Journal of Services and Operations Management*, v. 20, n. 4, p. 461–480, 2015.

NOOR, S.R.M. YUNUS, R. ABDULLAH, A.H. NAGAPAN, S. MAZLAN, S.M.S.S. Insights into the adoption of lean management in Industrialised Building System (IBS) implementation: The drivers and challenges. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, v. 7, n. 3.23 Speci, p. 22–31, 2018.

NOWOTARSKI, Piotr PASŁAWSKI, Jerzy MATYJA, Jakub. Improving Construction Processes Using Lean Management Methodologies – Cost Case Study. *Procedia Engineering*, World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium 2016, WMCAUS 2016, v. 161, p. 1037–1042, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816330806>>.

OGUNBIYI, Oyedolapo OLADAPO, Adebayo GOULDING, Jack. An empirical study of the impact of lean construction techniques on sustainable construction in the UK. *Construction Innovation*, v. 14, n. 1, p. 88–107, 2013.

OLAWUMI, Timothy O. CHAN, Daniel W.M. Identifying and prioritizing the benefits of integrating BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts. *Sustainable Cities and Society*, v. 40, n. March, p. 16–27, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.033>>.

OTI, Akponanabofa Henry TIZANI, Walid. BIM extension for the sustainability appraisal of conceptual steel design. *Advanced Engineering Informatics*, v. 29, p. 28–46, 2015.

OVAIS, Muhammad DENNEHY, Denis CONBOY, Kieran OIVO, Markku. Kanban in software engineering: A systematic mapping study. *The Journal of Systems & Software*, v. 137, p. 96–113, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.11.045>>.

PAEZ, Omar SALEM, Sam SOLOMON, Julie GENAIDY, Ash. Moving from lean manufacturing to lean construction: Toward a common sociotechnological framework. *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing*, v. 15, n. 2, p. 233–245, 2015.

PALIARI, José Carlos SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes De. *Método simplificado para prognóstico do consumo unitário de materiais e da produtividade da mão-de-obra: sistemas prediais hidráulicos*. . São Paulo: [s.n.], 2008.

Relatório Brundland - Nosso Futuro Comum. . [S.l: s.n.], 1987.

RUMMLER, Geary A. BRACHE, Alan P. *Improving Performance*. [S.l: s.n.], 1990.

SAIEG, Pedro SOTELINO, Elisa Dominguez NASCIMENTO, Daniel CAIADO, Rodrigo Goyannes Gusmão. Interactions of Building Information Modeling, Lean and Sustainability on the Architectural, Engineering and Construction industry: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, v. 174, p. 788–806, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.030>>.

SALLES, P. V. BATISTA, R. P. VIANA, T. M. AZEVEDO, R. C. POGGIALI, F. S. J. RODRIGUES, C. S. Carbonation of Recycled Aggregates Concrete - Application of the ProKnow-C Methodology in the Selection of Bibliographic Portfolio , Systematic and Bibliometric Analysis. v. 8, n. 5, p. 1–5, 2017.

SARHAN, J.G. XIA, B. FAWZIA, S. KARIM, A. Lean construction implementation in the Saudi Arabian construction industry. *Construction Economics and Building*, v. 17, n. 1, p. 46–69, 2017.

SCHMENNER, Roger W. The Merit of Making Things Fast. *Sloan Management Review*, Fall, p. 1–17, 1988.

SEPPANEM, O. MODRICH, R. BALLARD, G. Integration of Last Planner System and Location-based Management System. 2015, Perth, Australia: International Groups for Lean Construction, 2015. p. 123–132.

SHOU, Wenchi WANG, Jun WU, Peng WANG, Xiangyu CHONG, Heap-Yih. A cross-sector review on the use of value stream mapping. *International Journal of Production Research*, Compilation and indexing terms, Copyright 2018 Elsevier Inc., v. 55, n. 13, p. 3906–3928, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2017.1311031>>.

SIRIWARDANA, C.S. RUWANPURA, J.Y. A conceptual model to develop a worker performance measurement tool to improve construction productivity. 2012, Reston, VA: [s.n.], 2012. p. 179–188.

SMALL, Edgar P HAMOURI, Khaled Al HAMOURI, Husameddin Al. Examination of Opportunities for Integration of Lean Principles in Construction in Dubai. *Procedia Engineering*, Creative Construction Conference 2017, CCC 2017, 19-22 June 2017, Primosten, Croatia, v. 196, p. 616–621, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817331752>>.

SOUZA, U. *Metodologia para o estudo da produtividade da mão de obra para o serviço de formas para estrutura de concreto*. 1996. USP. São Paulo, 1996.

STALK, G. jr. & Hout. Competing against time. *Free Press*, NY., 1989.

TEZEL, A. NIELSEN, Y. Lean construction conformance among construction contractors in Turkey. *Journal of Management in Engineering*, v. 29, n. 3, p. 236–250, 2013.

TEZEL, Algan KOSKELA, Lauri J. AZIZ, Zeeshan. Lean thinking in the highways construction sector: motivation, implementation and barriers”,. *Production Planning & Control*, v. 29, n. 3, p. 247–269, 2018.

VAIDYANATHAN, K. MOHANBABU, S. SRIRAM, P. RAHMAN, S. ARUNKUMAR, S. Application of Lean Principles to Managing Construction of an IT Commercial Facility - An Indian Experience. 2016, Boston, MA, USA: International Group for Lean Construction, 2016. p. 183–192.

XU, Yuchun CHEN, Mu. Improving Just-in-Time Manufacturing Operations by Using Internet of Things Based Solutions. 2016, [S.l: s.n.], 2016.

APÊNDICE A - ARTIGO REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A aplicação do *lean construction*: uma revisão sistêmica de acordo com o Proknow-C¹.

The application of lean construction:
a systematic review by Proknow-C

Tiago Vilela Campos,
Rogério Cabral de Azevedo²

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Av. Amazonas, 7675, Nova Gameleira, CEP: 30510-000, Belo Horizonte, MG
e-mail: tiagovilelacampos@gmail.com ; rogerio@civil.cefetmg.br

RESUMO

Na construção civil o *lean construction*, ou construção enxuta, visa maximizar o uso de materiais e aproveitar ao máximo a mão de obra disponível. Para identificar as ferramentas, as contribuições e as dificuldades encontradas pela indústria da construção civil no uso das ferramentas do *lean construction*, esta pesquisa adota o método de revisão sistemática ProKnow-C para analisar um portfólio de artigos selecionado de forma a representar o estado da arte sobre o uso do *lean construction*. A análise do portfólio foi realizada por meio de cinco lentes de pesquisa: as fontes de perda na construção civil, os obstáculos para a implementação das ferramentas, as ferramentas utilizadas, as vantagens da implementação e a análise quantitativa da melhora que a aplicação do *lean construction* gera na indústria da construção civil. Com a análise do portfólio concluiu-se que as fontes de perdas mais presentes são: retrabalho, execuções ineficientes e períodos de espera por materiais ou mão de obra; a falta de conhecimento do corpo técnico e a baixa comunicação entre as equipes são as principais barreiras para a aplicação da metodologia; dentre as ferramentas apresentadas as mais aplicadas são: sistema de gestão de qualidade total e adoção de sistemas de gestão visual e a vantagem da aplicação da metodologia é o aumento da eficiência produtiva. Percebe-se também a ausência de trabalhos científicos que retratem quantitativamente a melhora que a aplicação das ferramentas do *lean construction* trazem ao canteiro de obras, o que se apresenta como uma futura oportunidade de pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE: lean construction, construção enxuta, gestão de resíduos e insumos.

¹ Artigo aceito pela Revista Gestão de Produção em 25/10/2019 aguardando revisões para avaliação final

ABSTRACT

In civil construction lean methodology, or lean construction, aims to maximize the use of materials and make the most of available manpower. In order to identify the tools, contributions and difficulties encountered by the construction industry in the use of lean construction methodology, this research adopts the ProKnow-C systemic revision method in order to analyze a portfolio of articles that represent the state of the art on the use of lean by civil construction. The portfolio analysis was carried out through five research lenses: the sources of waste in construction, the obstacles in order to the implementation of the methodology, the tools used, the advantages of implementing the methodology and the quantitative analysis of the improvement that the application of the lean manufacturing carry out in the construction industry. Through the analysis of the portfolio it was concluded that the most present sources of losses are: rework, inefficient executions and waiting periods for materials or labor; the lack of knowledge of the technical staff and the absence of communication between the teams are the main barriers to the application of the methodology; among the tools presented the most applied are: total quality management system and adoption of visual management systems and the advantage of applying the methodology is the increase of productive efficiency. It is also noticed the absence of scientific works that quantitatively portray the improvement that the application of the tools of the lean construction brings to the construction site, which shows an opportunity of future research.

KEY WORDS: lean construction, waste management.

INTRODUÇÃO:

Com o passar dos anos o conceito de sustentabilidade tem sido cada vez mais difundido no dia a dia de toda a população. Percebe-se que a ideia de desenvolvimento sustentável é disseminada nas várias vertentes de desenvolvimento científico, desde o cuidado pelo meio ambiente, ao cotidiano da sociedade e também nos meios de desenvolvimento econômico. Nos campos de engenharia, arquitetura e construção civil, não poderia ser diferente.

O conceito de desenvolvimento sustentável considera o uso eficiente dos recursos para alcançar lucros operacionais e maximizar o valor de mercado, por meio de substituição de recursos naturais por produtos mais eficientes, respeitando o bem estar social e sem degradar a capacidade de recuperação dos ecossistemas (OLAWUMI CHAN, 2018). Nas últimas três décadas, ouve uma crescente pressão não somente para a melhora na qualidade, produtividade, eficiência e efetividade, mas para que a indústria da construção civil se desenvolva de maneira sustentável (SAIEG *et al.*, 2018).

Dentre os desafios para a sustentabilidade do setor de construção, encontram-se: desperdício nos processos e excesso de produção de resíduos, excesso de confiança nos recursos, alto uso de energia, emissões de carbono, projetos mal desenvolvidos e baixa produtividade (AHUJA SAWHNEY ARIF, 2017). Além disso, processos administrativos ineficientes, apesar de raramente serem vistos como um fator de significância para a produtividade, podem influenciar diretamente na produção e normalmente são a primeira causa de atrasos durante a construção (BELAYUTHAM GONZÁLEZ YIU, 2016). Nesse contexto de baixa eficiência industrial, a metodologia *lean*, se apresenta como uma metodologia de gestão para auxiliar no desenvolvimento de processos mais eficientes e sustentáveis.

Na construção civil o *lean construction*, ou construção enxuta, visa minimizar o uso de materiais e aproveitar ao máximo a mão de obra disponível, evitando a produção de resíduos e a execução de atividades que não agregam ao valor ao produto. Sua aplicação tem garantido redução dos resíduos gerados, redução nos atrasos de obras, aumento na performance dos projetos por meio de práticas de planejamento, aumento da satisfação dos clientes e redução nos riscos construtivos (NIKAKHTAR *et al.*, 2015).

Esta pesquisa tem como objetivos identificar e caracterizar as diferentes ferramentas do *lean construction* implementadas na indústria da construção, seus desafios e os benefícios que estas podem trazer. Por meio de uma revisão sistemática da literatura, busca-se alcançar esses objetivos respondendo as seguintes perguntas:

- Quais as fontes de perdas encontradas na indústria da construção civil que poderiam ser reduzidas ou eliminadas com a aplicação de ferramentas do *lean construction*?

- Quais as ferramentas do *lean construction* são aplicadas na indústria da construção civil e identificadas nos artigos que apresentam o estado da arte sobre o tema?
- Quais são as dificuldades encontradas para a aplicação das ferramentas do *lean construction* na construção civil?
- Quais os benefícios obtidos por meio da aplicação de ferramentas do *lean construction* na construção civil?

A avaliação do cenário atual de pesquisas sobre o uso das ferramentas do *lean construction* na indústria da construção civil visa expor as informações obtidas sobre a aplicação desta metodologia que são importantes para identificar os seus gargalos, as ferramentas mais utilizadas e as vantagens obtidas por meio de sua aplicação. A análise das informações obtidas pode evidenciar lacunas de pesquisa sobre o tema que possam subsidiar novos trabalhos sobre a forma de aplicação das ferramentas do *lean construction* na construção civil e gerar novas contribuições ao meio acadêmico.

MÉTODO:

Com o intuito de produzir um estudo científico imparcial e obter-se o estado da arte sobre o *lean construction* optou-se por realizar uma revisão sistemática. Por meio da revisão sistemática consideram-se todos os estudos publicados sobre uma determinada questão e as conclusões são tiradas com base nas evidências disponíveis, sendo assim, uma visão completa sobre o tema pode ser apresentada (GREEN, 2005).

Dentre os vários métodos de revisão sistemática existentes optou-se por adotar o método: ProKnow-C (Knowledge Development Process – Constructivist), desenvolvido pelo Laboratório de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão da Universidade Federal de Santa Catarina (LabMCDA/UFSC) e adotado por diversos pesquisadores (AFONSO *et al.*, 2012; ANSAH SOROOSHIAN, 2017; DOS SANTOS AZEVEDO, 2018; DUTRA *et al.*, 2015; ENSSLIN *et al.*, 2015; ENSSLIN ENSSLIN, 2012; SALLES *et al.*, 2017) .

O ProKnow-C pode ser dividido em três etapas: seleção do portfólio, bibliometria e análise sistemática. A primeira etapa, a seleção do portfólio, baseia-se em uma série de passos reproduzíveis para a coleta e seleção de artigos que resultará em um portfólio contendo os artigos que melhor representam o estado da arte sobre o tema.

Os passos desta etapa são os seguintes: (i) definição das palavras-chave que definem o tema de pesquisa; (ii) definição das bases de dados onde a busca será realizada; (iii) teste de aderência das palavras-chave usadas (verificação de existência de novas palavras-chave); (iv) exclusão de artigos duplicados; (v) seleção dos artigos pela verificação do alinhamento do título com o tema de pesquisa (exclusão de artigos não alinhados); (vi) seleção dos artigos

pelo reconhecimento científico dado pela quantidade de citações; (vii) seleção dos artigos pela verificação do alinhamento do resumo com o tema de pesquisa (exclusão dos artigos não alinhados); (viii) busca por artigos não selecionados pelo reconhecimento científico, recentes (publicados nos dois últimos anos) ou de autores já selecionados; e (ix) seleção dos artigos pelo alinhamento do texto completo com o tema de pesquisa.

A próxima etapa, a análise bibliométrica, analisa a relevância científica do portfólio. Tal relevância é obtida por meio da contagem de citações e da qualificação (CAPES, JCR, etc) do periódico onde o artigo foi publicado. Na última etapa do ProKnow-C é realizada a análise sistemática dos artigos (AFONSO *et al.*, 2012; AZEVEDO ENSSLIN JUNGLES, 2014; DE CARVALHO GRANJA DA SILVA, 2017; GARZA-REYES, 2015).

A escolha do ProKnow-C foi feita com o intuito de apresentar o estado da arte do conteúdo dos artigos selecionados de maneira sistêmica e reproduzível, afim de evitar linhas de tendência nos materiais obtidos como base da pesquisa. Conforme explicitado acima, todos os passos foram reproduzidos na pesquisa.

DESENVOLVIMENTO:

Adotando-se uma abordagem conservadora, a determinação das palavras chave fixou-se em “*lean construction*” apenas. Para a realização da pesquisa foram selecionadas três bases de dados: Science Direct, Scopus e Compendex, visto que as três apresentam acervos de periódicos com relevância significativa na área de construção civil e apresentaram o maior retorno em termos de quantidade de artigos com o uso do termo de busca “*lean construction*”.

Seguindo os passos propostos pelo método, a partir da identificação de dois artigos totalmente alinhados com o tema de pesquisa, foi feito o teste de aderência das palavras-chave utilizadas na pesquisa. O teste não evidenciou a necessidade de inclusão de novas palavras chave. Após esta comprovação realizou-se a filtragem dos conteúdos por data de publicação, sendo artigos publicados após 2008 e foram selecionados apenas artigos publicados por periódicos. Com tais filtros foram obtidos na base de dados Science Direct 131 artigos, na base de dados Scopus 718 artigos e na base de dados Compendex 714 artigos, totalizando assim 1563 títulos.

Após a seleção dos artigos, as informações dos mesmos foram transferidas para o software Mendeley (software de gerenciamento de referências). Com o auxílio do Mendeley realizou-se a busca por artigos duplicados. Esta busca identificou 194 artigos duplicados que foram excluídos do portfólio, passando este a contar com 1161 artigos. Após este passo, os artigos foram analisados quanto ao alinhamento de seu título com o tema de pesquisa, o que

resultou na seleção de 106 artigos não duplicados, com o título alinhado com o tema de pesquisa.

O próximo passo da etapa de seleção de artigos do método ProKnow-C é a seleção pelo reconhecimento científico. No entanto, dada a quantidade de artigos do portfólio (106 artigos), os autores optaram por não executar este passo e aplicar o passo seguinte (seleção pelo alinhamento do resumo do artigo) a todos os 106 artigos do portfólio. Esta opção resultou na classificação dos 106 artigos segundo sua abordagem em relação ao tema, a saber: (i) oito artigos que retratavam a aplicação do *lean construction* em outras estruturas que não residenciais, (ii) seis artigos com a aplicação da metodologia em projetos, (iii) trinta e seis artigos revisando o uso de algumas ferramentas específicas do *lean construction*, (iv) quarenta e dois artigos sobre os mais diversos temas dentro do contexto da metodologia *lean* e (v) quatorze artigos sobre a aplicação das ferramentas do *lean construction* voltadas para edificações residenciais ou comerciais.

A leitura do texto integral dos 14 artigos selecionados para o portfólio confirmou a aderência total dos mesmos ao tema e objetivos da pesquisa. Como o passo de filtragem pelo reconhecimento científico dos artigos (dada pela quantidade de citações obtidas pelos artigos) não foi executada, não foi necessária a avaliação dos artigos recentes (e consequentemente, pouco citados), uma vez que todos os artigos foram avaliados. Os artigos, seus respectivos autores e periódicos são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Artigos selecionados para o portfólio final em ordem alfabética (Fonte: o autor).

ARTIGOS	CITAÇÕES
Abhiram, P., Asadi, S. S., & Prasad, A. V. S. (2016). Implementation of Lean methodology in Indian construction. <i>International Journal of Civil Engineering and Technology</i> , 7(6) , 641–649.	8
Al-Aomar, R. (2012). Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry. <i>Lean Construction Journal</i> , 2012, 105–121.	33
Alinaitwe, H. M. (2009). Prioritising Lean Construction Barriers in Uganda's Construction Industry. <i>Journal of Construction in Developing Countries</i> , 14(1) , 15–30. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0377-1237(11)80008-0	76
Bajjou, M. S., & Chafi, A. (2018). Lean construction implementation in the Moroccan construction industry: Awareness, benefits and barriers. <i>Journal of Engineering, Design and Technology</i> , 16(4) , 533–556. https://doi.org/10.1108/JEDT-02-2018-0031	2
Belayutham, S., González, V. A., & Yiu, T. W. (2016). Clean-Lean Administrative Processes: A Case Study on Sediment Pollution during Construction. <i>Journal of Cleaner Production</i> , 126 , 134–147. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.091	9
Costa Neto, E. N., Sartori Filho, H., Santiago, M. V., Santos, P. R., Santana, P. L., & Silva, R. B. (2015). Avaliação da utilização dos princípios da construção enxuta em duas empresas do setor da construção civil no município de Rondonópolis -. <i>Espacios</i> , 36(19), 11–28.	-

ARTIGOS	CITAÇÕES
Dixit, S., Mandal, S. N., Sawhney, A., & Singh, S. (2017). Area of linkage between lean construction and sustainability in indian construction industry. <i>International Journal of Civil Engineering and Technology</i> , 8(8), 623–636. Retrieved from https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85028312536&partnerID=40&md5=de36c5d06517689354290494ebf01074	11
Li, S., Wu, X., Zhou, Y., & Liu, X. (2017). A study on the evaluation of implementation level of lean construction in two Chinese firms. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , 71, 846–851. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.112	14
Marhani, M. A., Bari, N. A. A., Ahmad, K., & Jaapar, A. (2018). The implementation of lean construction tools in Malaysia. <i>Chemical Engineering Transactions</i> , 63, 289–294. https://doi.org/10.3303/CET1863049	-
Nowotarski, P., Pasławski, J., & Matyja, J. (2016). Improving Construction Processes Using Lean Management Methodologies – Cost Case Study. <i>Procedia Engineering</i> , 161, 1037–1042. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.845	9
Ogunbiyi, O., Oladapo, A., & Goulding, J. (2013). An empirical study of the impact of lean construction techniques on sustainable construction in the UK. <i>Construction Innovation</i> , 14(1), 88–107. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/CI-08-2012-0045	59
Ruppenthal, J. E. (2016). Experiências sobre a implementação da filosofia lean em uma obra de condomínio horizontal de interesse social em Santa Maria - RS. <i>Revista Espacios</i> , 36(16), 4.	3
Sarhan, J. G., Xia, B., Fawzia, S., & Karim, A. (2017). Lean construction implementation in the Saudi Arabian construction industry. <i>Construction Economics and Building</i> , 17(1), 46–69. https://doi.org/10.5130/AJCEB.v17i1.5098	14
Small, E. P., Hamouri, K. Al, & Hamouri, H. Al. (2017). Examination of Opportunities for Integration of Lean Principles in Construction in Dubai. <i>Procedia Engineering</i> , 196, 616–621. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.049	1

BIBLIOMETRIA

Para ressaltar a relevância acadêmica do portfólio de artigos selecionados, os mesmos foram avaliados por diversos índices de relevância, tais como H5 do google acadêmico, CAPES e SJR, e quantidade de citações dos artigos. Os índices de relevância são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação de qualidade das revistas e jornais que compõe o portfólio de artigos (Fonte: o autor).

PERIÓDICOS	QTD ARTIGOS	CAPES	H5	JCR	SJR
<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	1	A1	161	-	3,036
<i>Journal of Cleaner Production</i>	1	A1	117	-	1,467
<i>Procedia Engineering</i>	2	A1	50	-	0,282
<i>Chemical Engineering Transactions</i>	1	B2	10	-	0,293
<i>Journal of Engineering, Design and Technology</i>	1	B3	12	-	0,212
<i>Lean Construction Journal</i>	1	B3		-	0,204
<i>Revista Espacios</i>	2	B4	2	-	-
<i>International Journal of Civil Eng. and Technology</i>	2	-		9,7820	-
<i>Journal of Construction in developing Countries</i>	1	-		-	-
<i>Construction Innovation</i>	1	-	17	-	0,498
<i>Construction Economics and Building</i>	1	-	14	-	0,379

Dentre os artigos analisados pode-se identificar estudos com os mais diversos objetivos relacionados ao *lean construction*. S. Li, Wu, Zhou, & Liu (2017), analisaram como o *lean construction* é implementado em duas empresas chinesas e quais são os fatores que contribuem para a pouca implementação do método no país. Small, Hamouri, & Hamouri (2017), analisam os esforços e as barreiras para a aplicação do *lean construction* nas atividades construtivas no Oriente Médio, focando especificamente nos mercados dos Emirados Árabes Unidos. Abhiram, Asadi, & Prasad (2016), buscaram identificar os principais fatores geradores de resíduos e fontes de desperdício na indústria da construção civil na Índia, bem como propuseram medidas de mitigação necessárias. Também na Índia, Dixit et al. (2017), estudaram a área de ligação entre a construção enxuta (*lean construction*) e a sustentabilidade na indústria de construção e classificaram as ferramentas identificadas no *lean construction*, com base na sua aplicação para projetos de construção. M.S. Bajjou & Chafi (2018), buscaram explorar qual o nível atual de conhecimento das ferramentas do *lean construction* entre os profissionais da construção civil marroquinos para avaliar os benefícios potenciais derivados dessas práticas, além de identificar as principais barreiras que impedem uma implementação bem sucedida da metodologia no país.

Ogunbiyi et al. (2013), buscaram explorar por meio da análise do estado da arte e de questionários a contribuição da implementação do *lean construction* para construções sustentáveis no Reino Unido. Belayutham et al. (2016), aplicaram ferramentas do *lean*

construction nos processos administrativos de empresas de construção civil na Malásia com o intuito de avaliar quais as melhorias seriam obtidas em tais processos devido à redução nas atividades administrativas que não agregavam valor ao produto. Ainda na Malásia, M.A. Marhani, Bari, Ahmad, & Jaapar (2018), investigaram a aplicabilidade de ferramentas de *lean construction* e suas implicações para a qualidade de um produto de construção. Sarhan et al. (2017), investigaram o estado atual da implementação das ferramentas do *lean construction* na indústria da construção na Arábia Saudita identificando os tipos de perdas existentes na construção, o nível de utilização de tais ferramentas, os estágios de aplicação das ferramentas do *lean construction* e os benefícios obtidos por meio do uso delas. Al-Aomar (2012), analisou as atuais ferramentas do *lean construction* presentes nas empresas de construção de Abu Dhabi e desenvolveu uma estrutura prática para a adoção de técnicas de construção enxuta, medindo o desempenho por meio dessa metodologia.

Os artigos selecionados foram analisados com o objetivo de identificar quais as ferramentas do *lean construction* mencionadas em cada um deles, os benefícios associados à sua implementação e as dificuldades encontradas para tal aplicação. A revisão de todos os artigos e a análise sistemática de seus conteúdos resultou em dados qualitativos sobre as diversas aplicações das ferramentas do *lean construction* em obras residenciais ou comerciais em diversos países. Os resultados são apresentados usando textos, tabelas e gráficos para facilitar a visualização.

LENTE DE PESQUISA

Para a avaliação dos artigos conforme o método ProKnow-C, foram estabelecidas cinco lentes teóricas para a avaliação. Sendo assim, observam-se as seguintes lentes teóricas de avaliação do tema: (i) as fontes de perda na construção civil; (ii) os obstáculos para a implementação das ferramentas do *lean construction*; (iii) as ferramentas utilizadas; (iv) as vantagens da implementação do *lean construction*; e (v) análise quantitativa da melhora que a aplicação das ferramentas do *lean construction* gera na indústria da construção civil.

RESULTADOS

A primeira lente de pesquisa explicita quais as fontes de perda mais presentes na construção civil de acordo com o portfólio avaliado e são apresentadas na Tabela 1. Dentre os quatorze artigos apenas três artigos Abhiram et al. (2016), Al-Aomar (2012) e Sarhan et al. (2017) retrataram as fontes de perdas na construção civil. As fontes observadas pelos autores foram: perdas de prazos, longos processos de aprovação, atraso para início das atividades, trabalhos de reparação, repartição de equipamentos, períodos de espera de materiais e mão

de obra, longo tempo de transportes, defeitos nos trabalhos, materiais danificados, interrupção de trabalhos, retrabalhos, necessidade de esclarecimento de projetos, erros em projetos, erros de execução, movimentos excessivos para o trabalho, manuseio excessivo de materiais, reverificação de trabalhos, medidas de segurança excessivas, trabalhos ineficientes, tempo de treinamento excessivo, supervisão excessiva, trabalhos incompletos, excesso de estoque, uso excessivo de equipamentos, extravio de materiais, uso excessivo de espaço, recursos superqualificados, problemas no fluxo de caixa e erros de planejamento.

Tabela 1 – Fontes de perdas na construção civil de acordo com portfólio (Fonte: o autor).

Fontes de perdas	Al-Aomar, 2012	Abhiram et al., 2016	Sarhan et al., 2017
Períodos de espera de materiais / mão de obra	X	X	X
Retrabalhos	X	X	X
Trabalhos Ineficientes	X	X	X
Interrupção de trabalhos	X	X	
Defeitos nos trabalhos	X		X
Excesso de estoque	X		X
Longo tempo de transporte	X		X
Movimentos excessivos para o trabalho	X		X
Atraso para início das atividades	X		
Erros de execução	X		
Erros em projetos	X		
Longos processos de aprovação	X		
Manuseio excessivo de materiais	X		
Materiais danificados	X		
Medidas de segurança Excessivas	X		
Necessidade de esclarecimento de projetos	X		
Perda de prazos	X		
Recursos Superqualificados	X		
Repartição de Equipamentos	X		
Reverificação de trabalhos	X		
Roubo	X		
Supervisão Excessiva	X		
Tempo de treinamento excessivo	X		
Trabalhos de reparação	X		
Trabalhos incompletos	X		
Uso excessivo de equipamentos	X		
Uso excessivo de espaço	X		
Erros nos planejamentos		X	
Furo no fluxo de Caixa		X	

Apesar de serem apresentadas inúmeras fontes de perdas nos artigos de Abhiram et al. (2016), Al-Aomar (2012) e Sarhan et al. (2017), percebe-se que nos três estudos há a recorrência de três fontes de perdas: (i) longos períodos de espera tanto da mão de obra quanto de materiais; (ii) execução de trabalhos ineficientes e; (iii) a necessidade de retrabalhos. Tais fontes de perda são oriundas de diferentes pontos de ineficiência produtiva. O item (i) pode ser enquadrado de acordo com Formoso et al. (1997), como perda por: espera, transporte e movimento. Estas perdas estão vinculadas às atividades que não agregam valor ao produto. Por outro lado, as perdas descritas em (ii) e (iii) podem ser classificadas como perdas por processamento ou pela produção de produtos defeituosos. Tais perdas têm origem na execução de processos fora do padrão proposto pelos procedimentos operacionais (Formoso et al., 1997). A aplicação das ferramentas do *lean construction* aparece nesse contexto como uma forma de auxiliar a redução de tais perdas. Porém existe uma série de dificuldades e barreiras que podem comprometer a aplicação de tais ferramentas. Essas barreiras representam a segunda lente de pesquisa observada nos artigos.

De acordo com Alinaitwe (2009); Bajjou & Chafi (2018); Li et al. (2017); Small et al. (2017), são barreiras para a implementação das ferramentas do *lean construction*: a falta de conhecimentos da metodologia por parte da gerencia e equipe, ausência de acesso à informação quando necessárias, falta de infraestrutura em transporte e comunicação, baixa comunicação entre equipes, cadeia de suprimentos ineficiente, instabilidade dos custos, metas diferenciadas entre as equipes, ausência de projetos detalhados, ausência de gestão participativa entre as equipes, planejamento ineficiente, falta de comprometimento da alta direção, falta de recursos financeiros e resistência às mudanças por parte da equipe.

Observa-se que dentre os quatorze artigos que compõem o portfólio 4 retratam as barreiras encontradas para a aplicação das ferramentas do *lean construction*. Tais barreiras são apresentadas na Tabela 2. Dentre tais artigos, observa-se uma diferença entre o número de barreiras elencadas: nove para Alinaitwe (2009) ; cinco para Bajjou & Chafi (2018); quatro para Li et al. (2017); e por fim quatro em Small et al. (2017). Ressalta-se que dentre tais barreiras, as mais citadas entre os quatro artigos são: a baixa comunicação entre as equipes e a falta de conhecimento sobre as ferramentas do *lean construction* por parte da gerência e equipe.

De acordo com o apresentado nos artigos de Alinaitwe (2009); Li et al. (2017); Small et al. (2017), a baixa comunicação entre as equipes é uma barreira derivada de cadeias produtivas onde há uma hierarquia verticalizada, ou seja, os trabalhadores tem uma função limitada e não possuem autonomia de comunicação com outros setores, ficando limitados à apenas a realização de suas funções. Por outro lado, Bajjou & Chafi (2018); Li et al. (2017); Small et al.

(2017), apresentam a falta de conhecimento das ferramentas do *lean construction* por parte da gerência e equipe como barreira para implementação de tais ferramentas e justificam isso pela falta de sistemas de capacitação e treinamento das equipes. Observa-se que tais barreiras poderiam ser mitigadas por meio de treinamentos sobre o uso das ferramentas do *lean construction* e por modificações nos sistemas hierárquicos das empresas.

Tabela 2 – Barreiras para a implementação do *lean construction* segundo o portfólio (Fonte: o autor).

<i>Barreiras para a implementação do lean construction</i>	Alinaitwe, 2009	S. Li, Wu, Zhou, & Liu, 2017	Small, Hamouri, & Hamouri, 2017	M.S. Bajjou & Chafi, 2018
Baixa comunicação entre equipes	x	x	x	
Falta de conhecimento das ferramentas por parte da gerência e equipe		x	x	x
Cadeia de Suprimentos ineficiente	x	x		
Falta de infraestrutura em transporte e comunicação	x	x		
Ausência de Projetos Detalhados	x		x	
Instabilidade dos custos	x		x	
Planejamento Ineficiente	x			x
Ausência de acesso à informação quando necessárias	x			
Ausência de Gestão Participativa entre as Equipes	x			
Metas diferenciadas entre as equipes	x			
Falta de comprometimento da alta direção				x
Falta de recursos financeiros				x
Resistência às mudanças por parte da equipe				x

A análise do portfólio por meio da terceira lente de pesquisa apresenta as ferramentas do *lean construction* utilizadas nos estudos. Tais ferramentas e os artigos que as referenciaram são apresentados na Tabela 3. O levantamento das ferramentas do *lean construction* é evidenciado em nove artigos do portfólio, apresentando ferramentas que atuam dentre as mais variadas etapas do processo construtivo, desde a fase de desenvolvimento do projeto até a entrega e uso do empreendimento. No portfólio há registro da aplicação das seguintes ferramentas do *lean construction*: mapeamento do fluxo de valor, just in time, 5S, 6S, padronização de procedimentos, sistema de qualidade total, cross training, recursos visuais, trabalho em equipe, design enxuto, cadeia de suprimentos racionalizada, pequenos pacotes de trabalho, planejamento futuro, programação de trabalho em equipe/conferências gerenciais

(last planner system), engenharia concorrente, seis sigma, manutenção preventiva, BIM/ferramentas digitais e pré fabricação.

Observa-se que o número de ferramentas adotadas é grande e disperso nas mais diversas etapas de controle e gestão. Algumas das ferramentas apresentadas são adequadas à fase de projeto do empreendimento, enquanto outras, mais adequadas ao dia a dia do canteiro de obras, o que corrobora a grande versatilidade da aplicação das ferramentas do *lean construction* na construção civil.

Tabela 3 – Ferramentas do *lean construction* apresentadas no portfólio (Fonte: o autor).

<i>Ferramentas do lean construction para melhora do processo construtivo</i>	Al-Aomar, 2012	Ogunbiyi et al., 2013	S. Li, Wu, Zhou, & Liu,	Abhiram et al., 2016	Dixit et al., 2017	Sarhan et al., 2017	Small, Hamouri, & M.A. Marhani et al.,	M.S. Bajjou & Chafi, 2018
Sistema de Qualidade Total	x	x	x	x		x	x	x
Programação de trabalho em equipe/ Conferencias Gerenciais (<i>Last Planner System</i>)	x	x	x		x	x	x	
Recursos Visuais	x	x	x		x	x	x	x
5s	x		x			x	x	
<i>Just in Time</i>	x	x	x			x		
Padronização de procedimentos	x			x			x	x
Engenharia Concorrente			x			x	x	
Mapeamento do fluxo de Valor	x	x						x
Trabalho em Equipe	x						x	
BIM / Ferramentas Digitais						x	x	
Cadeia de suprimentos racionalizada	x						x	
Design Enxuto	x					x		
Pequenos Pacotes de Trabalho	x			x				
Pré fabricação						x		x
Seis sigma					x	x		
6s			x					
<i>Cross training</i>	x							
Manutenção Preventiva						x		
Planejamento Futuro	x							

As ferramentas do *lean construction* mais citadas no portfólio de artigos são: (i) adoção de sistema de qualidade total; (ii) uso de recursos visuais; (iii) aplicação de programação de trabalho em equipe (*last planner system*); (iv) padronização dos processos; (v) just in time e; (vi) 5S. O uso de tais ferramentas pode propiciar uma série de vantagens à indústria da construção civil.

A quarta lente de pesquisa aplicada ao portfólio visa identificar as vantagens da aplicação de ferramentas do *lean construction* na indústria da Construção Civil e são apresentadas na Tabela 4. A análise dos artigos de Alinaitwe (2009); Dixit et al. (2017); Ogunbiyi et al. (2013); Sarhan et al. (2017), evidenciou as seguintes vantagens: canteiro de obra organizado, existência de projetos detalhados, sistema de gerenciamento participativo entre as equipes, padronização dos processos, qualificação da mão de obra, comunicação eficiente entre as equipes, compreensão das necessidades do cliente, melhora na imagem corporativa, aumento da produtividade, redução do desperdício, redução no consumo de energia, redução dos custos, eliminação das atividades que não geram valor agregado, aumento na segurança do canteiro de obras, aumento na qualidade do produto e aumento na satisfação dos envolvidos no processo construtivo e na cadeia de suprimentos.

Todas essas vantagens podem ser agrupadas como formas de aumento da eficiência do processo produtivo. Em um mercado tão competitivo como o de hoje e com necessidades cada vez maiores de construções sustentáveis, a execução de empreendimentos eficientes agrega valor ao produto e atende às necessidades do mercado (HERMES, 2015). Além disso, a consequência do aumento da eficiência no processo construtivo gera a possibilidade de maiores ganhos comerciais, seja por aumento do valor agregado do produto, seja por redução nos custos produtivos.

Tabela 4 – Vantagens na adoção das ferramentas do *lean construction* na construção civil
(Fonte: o autor).

<i>Vantagens na adoção das ferramentas da metodologia lean</i>	Alinaitwe, 2009	Ogunbiyi et al., 2013	Dixit et al., 2017	Sarhan et al., 2017
Comunicação eficiente entre as equipes	x	x		
Sistema de gerenciamento participativo entre as equipes	x	x		
Redução Consumo de Energia		x	x	
Redução de Desperdício		x	x	
Aumento na segurança nos canteiros de obras			x	x
Compreensão das necessidades dos clientes	x			x
Aumento da produtividade		x		x
Canteiro de obras organizado	x			
Existência de projetos detalhados	x			
Padronização dos processos	x			
Qualificação de mão de obra	x			
Melhora da imagem Corporativa		x		
Redução nos custos		x		
Eliminação das atividade que não geram valor agregado			x	
Aumento na qualidade do produto				x
Aumento na satisfação dos envolvidos no processo construtivo e na cadeia de suprimentos				x

Na quinta lente de pesquisa observa-se a carência de estudos que quantifiquem os ganhos obtidos com a aplicação de ferramentas do *lean construction*, seja em termos de produtividade ou em relação ao consumo de insumos na construção civil. Os artigos que compõem o portfólio, avaliam qualitativamente a aplicação das ferramentas do *lean construction*, ou seja, apenas apresentam quais as ferramentas mais utilizadas em cada país, as vantagens obtidas com a utilização das ferramentas do *lean construction* e as barreiras encontradas para implementação das mesmas. Porém, deve ser ressaltado que não são encontrados na literatura estudos que avaliem quantitativamente as melhoras obtidas nos índices de produtividade mensurados a partir da adoção das ferramentas do *lean construction*, muito menos comparações estatísticas relacionando-as aos métodos de gestão tradicional.

Como já explicitado a avaliação qualitativa da metodologia é importante e amplamente estudada. Porém, tal análise não considera alguns fatores tidos como importantes para a

tomada de decisão sobre a viabilidade da aplicação das ferramentas do *lean construction*, em relação aos métodos tradicionais. Esses fatores, como, por exemplo, as diferenças entre o consumo de insumos, índices de produtividade, geração de resíduos e outros, podem oferecer viabilidade para os esforços necessários à adoção de ferramentas mais sustentáveis, tais como o *lean construction*. Tal fato, gera oportunidade para o desenvolvimento de pesquisas que possam avaliar a aplicação das ferramentas do *lean construction* em termos de produtividade, geração de resíduos e consumo de insumos.

CONCLUSÃO:

A análise sistemática realizada sobre o portfólio de artigos selecionados permitiu identificar e analisar as diferentes ferramentas do *lean construction* implementadas na indústria da construção e seus benefícios na agenda de sustentabilidade. Aplicando-se cinco lentes de pesquisa: apresentação das fontes de perdas na construção civil, apresentação das barreiras para aplicação do *lean construction*, ferramentas do *lean construction* aplicadas na indústria da construção, as vantagens da aplicação de tais ferramentas e a avaliação sobre estudos quantitativos da aplicação das ferramentas do *lean construction* pode-se desenvolver a análise do estado da arte sobre o tema.

A aplicação das cinco lentes de pesquisa permitiu explicitar os seguintes fatos:

- As fontes de perdas presentes concorrentemente nos três artigos do portfólio que tratam de tal questão são: retrabalho, execuções ineficientes e períodos de espera por materiais ou mão de obra. Observa-se na Tabela 1 que das oito fontes de perda mais citadas nos artigos, quatro delas são maneiras diferentes de explicitar que as perdas têm origem em trabalhos executados de maneira inadequada e quatro são oriundas de falhas no planejamento dos ciclos produtivos.
- Na Tabela 2, observou-se que são inúmeras as barreiras para a aplicação das ferramentas do *lean construction* e que cada um dos autores ressaltou as dificuldades de aplicação das ferramentas de acordo com o ambiente e o contexto em que estavam inseridos. Dessa maneira, a avaliação do grau de intensidade com que cada barreira afeta a adoção das ferramentas do *lean construction* apresenta-se como oportunidade para uma pesquisa futura.
- Dentre as ferramentas apresentadas as mais aplicadas são: sistema de gestão de qualidade total, adoção de sistemas de gestão visual, programação de trabalho em equipes por meio de reuniões gerenciais (last system planner), just in time e 5S;

- Dentre as vantagens da aplicação das ferramentas do *lean construction* podem ser citadas: o aumento da eficiência produtiva, sendo por meio de menor desperdício ou com o aumento no valor agregado do produto;
- Ausência de trabalhos científicos que retratem quantitativamente a melhora que a aplicação das ferramentas do *lean construction* podem trazer em termos de ganhos de produtividade, consumo de insumos e geração de resíduos, o que se apresenta como uma oportunidade de pesquisa futura para sanar essa ausência.

Além disso, este estudo permitiu identificar que há evidências de que as ferramentas do *lean construction* implementadas na indústria da construção civil procuram lidar com a melhora na relação entre o custo e tempo, visando aumentar a eficiência produtiva dos projetos de construção.

Não obstante, o estudo permite associar as ferramentas do *lean construction* com potenciais contribuições para a redução de problemas construtivos dos empreendimentos, auxiliando na mitigação dos impactos adversos que tais problemas geram à indústria da construção civil. Sendo assim, recomenda-se que mais pesquisas sejam realizadas para avaliar quais as vantagens reais que a aplicação de tal metodologia agrega aos empreendimentos.

APÊNCIDE B - ESTRUTURA ANALÍTICA DE PROJETO

CRONOGRAMA FÍSICO FINANCEIRO - PLANEJAMENTO					
EAP - ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO					
WBS	Sumario	Atividade	Duração	Início	Término
1	Sim	RESIDENCIAL DONA ROSA	196 dias	25/03/19	27/01/20
1.1	Sim	Serviços Preliminares	4.5 dias	25/03/19	01/04/19
1.1.1	Não	Limpeza	2 dias	25/03/19	27/03/19
1.1.2	Não	Execução e Impermeabilização Muro Arrimo	2.5 dias	27/03/19	01/04/19
1.1.3	Não	Impermeabilização Cintas	1.5 dias	28/03/19	01/04/19
1.1.4	Não	Demolição de Muro Divisa	1.5 dias	28/03/19	01/04/19
1.1.5	Não	Instalação de Padrão da Cemig e Pedido de Ligação de Energia	1 dia	28/03/19	01/04/19
1.2	Sim	Primeiro Pav. Alvenaria + Estrutura B1	11.5 dias	01/04/19	17/04/19
1.2.1	Não	Marcação Alvenaria 1ºPav.	0.5 dias	01/04/19	01/04/19
1.2.2	Não	Armação dos pilares	1 dia	01/04/19	02/04/19
1.2.3	Não	Elevação 2 fiadas Alvenaria 1ºPav.	0.5 dias	01/04/19	01/04/19
1.2.4	Não	Impermeabilização 2 fiadas Alvenaria 1ºPav.	0.5 dias	01/04/19	01/04/19
1.2.5	Não	Elevação Alvenaria 1ºPav.	5 dias	01/04/19	09/04/19
1.2.6	Não	Produção e Locação de Vergas e Contravergas Prémoldadas 1ºPav.	0.5 dias	01/04/19	02/04/19
1.2.7	Não	Execução de Formas de Pilares, Vigas e Laje 1º Pav.	3 dias	09/04/19	12/04/19
1.2.8	Não	Execução de Formas de Varanda e Escada 1º Pav.	3 dias	12/04/19	17/04/19
1.2.9	Não	Aplicação de Desmoldante	0.5 dias	12/04/19	12/04/19
1.2.10	Não	Armação de Vigas 1ºPav.	1 dia	09/04/19	10/04/19
1.2.11	Não	Armação de Lajes 1ºPav.	1 dia	10/04/19	11/04/19
1.2.12	Não	Armação de Varanda e Escada 1º Pav.	1 dia	11/04/19	12/04/19
1.2.13	Não	Passagem dos Eletrodutos para 1ºPav.	1 dia	11/04/19	12/04/19
1.2.14	Não	Locação das Caixas Octagonais e Prumadas Hidráulicas 1ºPav.	1 dia	11/04/19	12/04/19
1.2.15	Não	Travamento lateral das Formas de Vigas 1º Pav.	1 dia	11/04/19	12/04/19
1.2.16	Não	Concretagem Elementos Estruturais 1º Pav.	1 dia	12/04/19	15/04/19

<i>WBS</i>	<i>Sumario</i>	<i>Atividade</i>	<i>Duração</i>	<i>Início</i>	<i>Término</i>
1.3	Sim	Segundo Pav. Alvenaria + Estrutura B1	11 dias	18/04/19	06/05/19
1.3.1	Não	Marcação Alvenaria 2ºPav.	0.5 dias	18/04/19	18/04/19
1.3.2	Não	Armação dos pilares	0.5 dias	18/04/19	18/04/19
1.3.3	Não	Elevação Alvenaria 2ºPav.	5 dias	18/04/19	26/04/19
1.3.4	Não	Produção e Locação de Vergas e Contravergas Prémoldadas 2ºPav.	0.5 dias	18/04/19	19/04/19
1.3.5	Não	Elevação Alvenaria Varanda e Escada	1 dia	26/04/19	29/04/19
1.3.6	Não	Retirada de Formas 1º Pav. Com Manutenção de escoramento	1 dia	26/04/19	29/04/19
1.3.7	Não	Execução de Formas de Pilares, Vigas e Laje 2º Pav.	2 dias	29/04/19	01/05/19
1.3.8	Não	Execução de Formas para Travamento de Varanda e Escada 2º Pav.	0.5 dias	01/05/19	01/05/19
1.3.9	Não	Aplicação de Desmoldante	0.5 dias	01/05/19	02/05/19
1.3.10	Não	Armação de Vigas 2ºPav.	1 dia	02/05/19	03/05/19
1.3.11	Não	Armação de Lajes 2ºPav.	1 dia	03/05/19	06/05/19
1.3.12	Não	Passagem dos Eletrodutos para 2ºPav.	1 dia	03/05/19	06/05/19
1.3.13	Não	Locação das Caixas Octagonais e Prumadas Hidráulicas 2ºPav.	1 dia	03/05/19	06/05/19
1.3.14	Não	Armação Pilaretes para Platibanda	0.5 dias	03/05/19	06/05/19
1.3.15	Não	Travamento lateral das Formas de Vigas 2º Pav.	1 dia	02/05/19	03/05/19
1.3.16	Não	Concretagem Elementos Estruturais 2º Pav.	1 dia	03/05/19	06/05/19
1.4	Sim	Primeiro Pav. Alvenaria + Estrutura B2	11.5 dias	06/05/19	23/05/19
1.4.1	Não	Marcação Alvenaria 1ºPav.	0.5 dias	06/05/19	06/05/19
1.4.2	Não	Armação dos pilares	1 dia	06/05/19	07/05/19
1.4.3	Não	Elevação 2 fiadas Alvenaria 1ºPav.	0.5 dias	06/05/19	06/05/19
1.4.4	Não	Impermeabilização 2 fiadas Alvenaria 1ºPav.	0.5 dias	06/05/19	06/05/19
1.4.5	Não	Elevação Alvenaria 1ºPav.	5 dias	06/05/19	14/05/19
1.4.6	Não	Produção e Locação de Vergas e Contravergas Prémoldadas 1ºPav.	0.5 dias	06/05/19	07/05/19
1.4.7	Não	Execução de Formas de Pilares, Vigas e Laje 1º Pav.	3 dias	14/05/19	17/05/19
1.4.8	Não	Execução de Formas de Varanda e Escada 1º Pav.	3 dias	17/05/19	23/05/19
1.4.9	Não	Aplicação de Desmoldante	0.5 dias	22/05/19	23/05/19

<i>WBS</i>	<i>Sumario</i>	<i>Atividade</i>	<i>Duração</i>	<i>Início</i>	<i>Término</i>
1.4.10	Não	Armação de Vigas 1ºPav.	1 dia	06/05/19	08/05/19
1.4.11	Não	Armação de Lajes 1ºPav.	1 dia	08/05/19	09/05/19
1.4.12	Não	Armação de Varanda e Escada 1º Pav.	1 dia	09/05/19	10/05/19
1.4.13	Não	Passagem dos Eletrodutos para 1ºPav.	1 dia	09/05/19	10/05/19
1.4.14	Não	Locação das Caixas Octagonais e Prumadas Hidráulicas 1ºPav.	1 dia	09/05/19	10/05/19
1.4.15	Não	Travamento lateral das Formas de Vigas 1º Pav.	1 dia	09/05/19	10/05/19
1.4.16	Não	Concretagem Elementos Estruturais 1º Pav.	1 dia	10/05/19	13/05/19
1.5	Sim	Segundo Pav. Alvenaria + Estrutura B2	11 dias	23/05/19	10/06/19
1.5.1	Não	Marcação Alvenaria 2ºPav.	0.5 dias	23/05/19	23/05/19
1.5.2	Não	Armação dos pilares	0.5 dias	23/05/19	23/05/19
1.5.3	Não	Elevação Alvenaria 2ºPav.	5 dias	23/05/19	31/05/19
1.5.4	Não	Produção e Locação de Vergas e Contravergas Prémoldadas 2ºPav.	1 dia	23/05/19	24/05/19
1.5.5	Não	Elevação Alvenaria Varanda e Escada	1 dia	31/05/19	03/06/19
1.5.6	Não	Retirada de Formas 1º Pav. Com Manutenção de escoramento	1 dia	31/05/19	03/06/19
1.5.7	Não	Execução de Formas de Pilares, Vigas e Laje 2º Pav.	2 dias	03/06/19	05/06/19
1.5.8	Não	Execução de Formas para Travamento de Varanda e Escada 2º Pav.	1 dia	04/06/19	05/06/19
1.5.9	Não	Aplicação de Desmoldante	1 dia	05/06/19	06/06/19
1.5.10	Não	Armação de Vigas 2ºPav.	1.5 dias	05/06/19	07/06/19
1.5.11	Não	Armação de Lajes 2ºPav.	1 dia	07/06/19	10/06/19
1.5.12	Não	Passagem dos Eletrodutos para 2ºPav.	1 dia	07/06/19	10/06/19
1.5.13	Não	Locação das Caixas Octagonais e Prumadas Hidráulicas 2ºPav.	1 dia	07/06/19	10/06/19
1.5.14	Não	Armação Pilaretes para Platibanda	1 dia	07/06/19	10/06/19
1.5.15	Não	Travamento lateral das Formas de Vigas 2º Pav.	1.5 dias	05/06/19	07/06/19
1.5.16	Não	Concretagem Elementos Estruturais 2º Pav.	1 dia	07/06/19	10/06/19
1.6	Sim	Platibanda Alvenaria + Estrutura B1 E B2	3 dias	10/06/19	14/06/19
1.6.1	Não	Marcação Alvenaria Platibanda	1 dia	10/06/19	11/06/19
1.6.2	Não	Elevação de Alvenaria Platibanda	2 dias	10/06/19	12/06/19

<i>WBS</i>	<i>Sumario</i>	<i>Atividade</i>	<i>Duração</i>	<i>Início</i>	<i>Término</i>
1.6.3	Não	Armação dos pilaretes e Viga de Travamento	1 dia	11/06/19	12/06/19
1.6.4	Não	Forma e Concretagem dos pilaretes e viga de travamento da Platibanda	1 dia	12/06/19	14/06/19
1.7	Sim	Revestimentos Externos	16 dias	14/06/19	10/07/19
1.7.1	Não	Chapisco Fachada Frontal	0.5 dias	14/06/19	14/06/19
1.7.2	Não	Reboco Fachada Frontal	3 dias	14/06/19	19/06/19
1.7.3	Não	Chapisco Varanda e Escada	0.5 dias	18/06/19	19/06/19
1.7.4	Não	Reboco Varanda e Escada	3 dias	19/06/19	24/06/19
1.7.5	Não	Chapisco Fachada Fundos	0.5 dias	24/06/19	24/06/19
1.7.6	Não	Reboco Fachada Fundos	4 dias	24/06/19	28/06/19
1.7.7	Não	Chapisco Laterais	0.5 dias	28/06/19	28/06/19
1.7.8	Não	Reboco Laterais	7 dias	28/06/19	10/07/19
1.8	Sim	Instalações Hidrossanitárias e Elétricas	4 dias	10/07/19	16/07/19
1.8.1	Não	Passagem de Eletrodutos nas paredes 1ºPav.	1 dia	10/07/19	11/07/19
1.8.2	Não	Passagem Tubulação de Esgoto 1ºPav.	1 dia	10/07/19	11/07/19
1.8.3	Não	Passagem de Eletrodutos nas paredes 2ºPav.	1 dia	11/07/19	12/07/19
1.8.4	Não	Passagem Tubulação de Esgoto 2ºPav.	1 dia	11/07/19	12/07/19
1.8.5	Não	Execução das Prumadas e Ramais de Alimentação de Água 2ºPav	1 dia	12/07/19	15/07/19
1.8.6	Não	Execução das Prumadas e Ramais de Alimentação de Água 1ºPav	1 dia	11/07/19	12/07/19
1.8.7	Não	Instalação Caixa d'água 2ºPav	1 dia	12/07/19	15/07/19
1.8.8	Não	Instalação Caixa d'água 1ºPav	1 dia	11/07/19	12/07/19
1.8.9	Não	Teste de ligação de Água 24 horas	1 dia	15/07/19	16/07/19
1.9	Sim	Assentamento de Marcos	6 dias	16/07/19	25/07/19
1.9.1	Não	Assentamento Marcos de Portas 2º Pav.	3 dias	16/07/19	19/07/19
1.9.2	Não	Assentamento Marcos de Portas 1º Pav.	3 dias	19/07/19	25/07/19
1.1	Sim	Revestimentos Internos e Contra Pisos	47.5 dias	25/07/19	08/10/19
1.10.1	Não	Armação para Laje 0 1º Pavimento	0.5 dias	25/07/19	25/07/19
1.10.2	Não	Concretagem de Laje 0 1º Pavimento	1 dia	25/07/19	26/07/19

<i>WBS</i>	<i>Sumario</i>	<i>Atividade</i>	<i>Duração</i>	<i>Início</i>	<i>Término</i>
1.10.3	Não	Chapisco Interno 2º Pav.	4 dias	29/07/19	02/08/19
1.10.4	Não	Emboço Interno 2º Pav.	15 dias	02/08/19	27/08/19
1.10.5	Não	Reboco Fino Interno 2ºPav.	1 dia	27/08/19	28/08/19
1.10.6	Não	Chapisco Interno 1º Pav.	4 dias	22/08/19	28/08/19
1.10.7	Não	Emboço Interno 1º Pav.	15 dias	28/08/19	20/09/19
1.10.8	Não	Reboco Fino Interno 1ºPav.	1 dia	20/09/19	23/09/19
1.10.9	Não	Execução de Contrapiso 2º Pav.	5 dias	23/09/19	01/10/19
1.10.10	Não	Execução de Contrapiso 1º Pav.	5 dias	01/10/19	08/10/19
1.10.11	Não	Execução de Contrapiso Varanda e Escada	2 dias	26/09/19	01/10/19
1.11	Sim	Acabamentos Elétricos	17 dias	27/08/19	23/09/19
1.11.1	Não	Assentamento de Caixas Paredes 1º Pav.	1 dia	20/09/19	23/09/19
1.11.2	Não	Assentamento de Caixas Paredes 2º Pav.	1 dia	27/08/19	28/08/19
1.11.3	Não	Assentamento de Quadro Elétrico 1º Pav.	0.5 dias	20/09/19	23/09/19
1.11.4	Não	Assentamento de Quadro Elétrico 2º Pav.	0.5 dias	27/08/19	28/08/19
1.12	Sim	Peitoris e Soleiras em Granito	8 dias	01/10/19	14/10/19
1.12.1	Não	Assentamento de Peitoris nas Janelas 2ºPav.	4 dias	01/10/19	07/10/19
1.12.2	Não	Assentamento de Peitoris nas Janelas 1ºPav.	4 dias	07/10/19	14/10/19
1.13	Sim	Gesso	27 dias	28/08/19	09/10/19
1.13.1	Não	Gesso corrido aplicado em teto 2º Pav	6 dias	28/08/19	06/09/19
1.13.2	Não	Gesso corrido aplicado em teto 1º Pav	6 dias	23/09/19	02/10/19
1.13.3	Não	Rebaixo de Gesso 1º Pav	5 dias	02/10/19	09/10/19
1.14	Sim	Impermeabilização	19 dias	27/08/19	25/09/19
1.14.1	Não	Impermeabilização Áreas molhadas 1º Pav.	3 dias	20/09/19	25/09/19
1.14.2	Não	Impermeabilização Áreas molhadas 2º Pav.	3 dias	27/08/19	30/08/19
1.14.3	Não	Impermeabilização Áreas secas 2º Pav.	3 dias	27/08/19	30/08/19
1.15	Sim	Instalação de Acabamentos Externos	0.5 dias	01/10/19	01/10/19
1.15.1	Não	Instalação de Caixa de Correio	0.5 dias	01/10/19	01/10/19

<i>WBS</i>	<i>Sumario</i>	<i>Atividade</i>	<i>Duração</i>	<i>Início</i>	<i>Término</i>
1.15.2	Não	Instalação de Números Definitivos	0.5 dias	01/10/19	01/10/19
1.16	Sim	Esquadrias	2 dias	09/10/19	14/10/19
1.16.1	Não	Instalação de Esquadrias e Vidros 2º Pav.	2 dias	09/10/19	14/10/19
1.16.2	Não	Instalação de Esquadrias e Vidros 1º Pav.	2 dias	09/10/19	14/10/19
1.17	Sim	Pavimentação	2 dias	09/10/19	14/10/19
1.17.1	Não	Execução de Laje 0 Armada de Piso Garagem	2 dias	09/10/19	14/10/19
1.17.2	Não	Execução de Acabamento em Laje 0 e de juntas de Dilatação	1 dia	11/10/19	14/10/19
1.18	Sim	Acabamento Pisos, Revestimentos de Paredes e Granitos	20 dias	14/10/19	13/11/19
1.18.1	Não	Assentamento Revestimentos Banheiro 2º Pav.	4 dias	14/10/19	18/10/19
1.18.2	Não	Assentamento Revestimentos Cozinha 2º Pav.	4 dias	14/10/19	18/10/19
1.18.3	Não	Assentamento Revestimentos Área de Serviço 2º Pav.	2 dias	18/10/19	22/10/19
1.18.4	Não	Assentamento Revestimentos Banheiro 1º Pav.	4 dias	22/10/19	29/10/19
1.18.5	Não	Assentamento Revestimentos Cozinha 1º Pav.	4 dias	22/10/19	29/10/19
1.18.6	Não	Assentamento Revestimentos Área de Serviço 1º Pav.	2 dias	29/10/19	31/10/19
1.18.7	Não	Assentamento Piso 2º Pav.	8 dias	22/10/19	04/11/19
1.18.8	Não	Assentamento Piso 1º Pav.	8 dias	31/10/19	13/11/19
1.18.9	Não	Assentamento Rodapé Piso 2º Pav.	2 dias	04/11/19	07/11/19
1.18.10	Não	Assentamento Rodapé Piso 1º Pav.	2 dias	04/11/19	07/11/19
1.18.11	Não	Execução de Rejuntamento dos Revestimentos 2º Pav.	2 dias	31/10/19	04/11/19
1.18.12	Não	Execução de Rejuntamento dos Revestimentos 1º Pav.	2 dias	11/11/19	13/11/19
1.18.13	Não	Execução de Rejuntamento dos Pisos 2º Pav.	2 dias	04/11/19	07/11/19
1.18.14	Não	Execução de Rejuntamento dos Pisos 1º Pav.	2 dias	04/11/19	07/11/19
1.18.15	Não	Assentamento de Bancadas de Granito 2º Pav.	2 dias	04/11/19	07/11/19
1.18.16	Não	Assentamento de Bancadas de Granito 1º Pav.	2 dias	04/11/19	07/11/19
1.18.17	Não	Assentamento de Louças 2º Pav.	1 dia	06/11/19	07/11/19
1.18.18	Não	Assentamento de Louças 1º Pav.	1 dia	06/11/19	07/11/19
1.18.19	Não	Execução de Rejuntamento nas bancadas de Granito 2º Pav.	1 dia	06/11/19	07/11/19
1.18.20	Não	Execução de Rejuntamento nas bancadas de Granito 1º Pav.	1 dia	06/11/19	07/11/19
1.19	Sim	Instalações Elétricas	5 dias	13/11/19	21/11/19

<i>WBS</i>	<i>Sumario</i>	<i>Atividade</i>	<i>Duração</i>	<i>Início</i>	<i>Término</i>
1.19.1	Não	Enfição 2ºPav.	5 dias	13/11/19	21/11/19
1.19.2	Não	Instalação Tomadas e Interruptores 2º Pav.	5 dias	13/11/19	21/11/19
1.19.3	Não	Ligação Quadro Elétrico 2º Pav.	5 dias	13/11/19	21/11/19
1.19.4	Não	Locação de Bocais e Acabamentos Elétricos 2º Pav.	5 dias	13/11/19	21/11/19
1.19.5	Não	Enfição 1ºPav.	5 dias	13/11/19	21/11/19
1.19.6	Não	Instalação Tomadas e Interruptores 1º Pav.	5 dias	13/11/19	21/11/19
1.19.7	Não	Ligação Quadro Elétrico 1º Pav.	5 dias	13/11/19	21/11/19
1.19.8	Não	Locação de Bocais e Acabamentos Elétricos 1º Pav.	5 dias	13/11/19	21/11/19
1.2	Sim	Pintura	17 dias	13/11/19	10/12/19
1.20.1	Não	Execução de Selagem Externa	1 dia	13/11/19	14/11/19
1.20.2	Não	Execução de Emassamento de Tetos 2º Pav.	1 dia	14/11/19	15/11/19
1.20.3	Não	Execução de Emassamento de Tetos 1º Pav.	1 dia	15/11/19	18/11/19
1.20.4	Não	Execução de Selagem Interna 2º Pav.	1 dia	19/11/19	20/11/19
1.20.5	Não	Execução de Selagem Interna 1º Pav.	1 dia	20/11/19	21/11/19
1.20.6	Não	Execução de Primeira Demão Externa	1 dia	21/11/19	22/11/19
1.20.7	Não	Execução de Segunda Demão Externa	1 dia	22/11/19	25/11/19
1.20.8	Não	Execução de Terceira Demão Externa	1 dia	25/11/19	26/11/19
1.20.9	Não	Pintura Primeira Demão 2º Pav.	1 dia	26/11/19	27/11/19
1.20.10	Não	Pintura Segunda Demão 2º Pav.	1 dia	27/11/19	28/11/19
1.20.11	Não	Pintura Primeira Demão 1º Pav.	1 dia	28/11/19	29/11/19
1.20.12	Não	Pintura Segunda Demão 1º Pav.	1 dia	02/12/19	03/12/19
1.20.13	Não	Pintura Externa e Interna de Muros	1 dia	03/12/19	04/12/19
1.20.14	Não	Selagem e Preparo dos Portões	1 dia	04/12/19	05/12/19
1.20.15	Não	Primeira Demão Pintura Portões	1 dia	05/12/19	06/12/19
1.20.16	Não	Segunda Demão Pintura Portões	1 dia	06/12/19	09/12/19
1.20.17	Não	Terceira Demão Pintura Portões	1 dia	09/12/19	10/12/19
1.21	Sim	Metais	2 dias	06/12/19	10/12/19
1.21.1	Não	Instalação de Metais 2º Pav.	2 dias	06/12/19	10/12/19
1.21.2	Não	Instalação de Metais 1º Pav.	2 dias	06/12/19	10/12/19
1.22	Sim	Cobertura Metálica	5 dias	10/07/19	17/07/19
1.22.1	Não	Instalação da Estrutura Metálica	1 dia	10/07/19	11/07/19
1.22.2	Não	Instalação de Calhas	1 dia	11/07/19	12/07/19
1.22.3	Não	Instalação de Tubulação de Drenagem Pluvial	1 dia	12/07/19	15/07/19
1.22.4	Não	Instalação de Pingadeiras	1 dia	15/07/19	16/07/19
1.22.5	Não	Calafetação das pingadeiras	1 dia	12/07/19	15/07/19
1.22.6	Não	Instalação e Fixação das Telhas	1 dia	15/07/19	16/07/19
1.22.7	Não	Instalação e Fixação dos Rufos	1 dia	16/07/19	17/07/19
1.22.8	Não	Impermeabilização dos Rufos e paredes das platibandas	1 dia	15/07/19	16/07/19
1.22.9	Não	Impermeabilização da estrutura da Caixa d'água	1 dia	15/07/19	16/07/19

APÊNCIDE C - INSTRUÇÃO DE TRABALHO FÔRMAS

FORMAS	Nome	Cargo/Função	Assinatura
Revisão	Tiago Vilela Campos	Engenheiro Civil	
Análise Crítica e Aprovação	Filipe Clementino Gomes	Diretor Comercial	

MÉTODO EXECUTIVO NBR 15696

ATIVIDADES	RESPONSÁVEL
Elaborar plano de corte para painéis de forma.	Engenheiro/Carpinteiro
Cortar e estruturar os painéis procurando sempre o melhor aproveitamento.	Carpinteiro
Transferir os eixos principais ou de referência para a laje e efetuar a locação correta das vigas e dos panos de laje com tolerância de +/- 5 mm em relação às medidas de locação definidas pelos eixos.	Carpinteiro/ Encarregado
Marcar em cada pilar o nível de referência para determinação do nível de apoio do fundo de vigas e ou lajes.	Carpinteiro/ Encarregado
Para a locação dos “colarinhos” a área deve estar em condições ideais, ou seja, totalmente desimpedida, limpa e sem nenhuma interferência. No caso de fundação com sapatas ou blocos estes devem estar desformados e a terra nivelada e compactada, em redor dos mesmos.	Carpinteiro
No caso da laje essa é a primeira atividade após a concretagem. Os “colarinhos” devem ser firmes e indeformáveis.	Carpinteiro
A montagem dos pilares deverá ser liberada após a verificação dos “colarinhos” e níveis dos mesmos. Os painéis dos pilares já devem estar desformados, limpos e reformados, se houver necessidade, no mesmo pavimento para execução das formas de vigas e lajes.	Carpinteiro
Em pilares com pé direito de 3.0m a 5.0m prever janela de inspeção para a concretagem. Em pilares com pé direito superior à 5.0m, concretar em etapas que não superem 3.0m por etapa. Executar os travamentos com tensores ou por meio de barras rosqueadas.	Carpinteiro
Lançar os fundos de viga a partir dos topos dos pilares usando para apoio algumas “cruzetas” com peças de madeira. Proceder ao nivelamento do fundo da viga, para após colocar as demais cruzetas posicionando-as no nível correto. Estas devem estar aprumadas e alinhadas.	Carpinteiro
Posicionar a partir daí os painéis laterais, encostando-os na borda do painel de fundo atendendo o nível de concretagem.	Carpinteiro
Proceder ao travamento das laterais através da colocação do “Sarrafo de pressão ou barras rosqueadas”, na parte inferior do painel lateral e, se necessário, efetuar o travamento lateral intermediário do painel lateral, através das barras rosqueadas.	Carpinteiro
Prosseguir a montagem do escoramento e barroteamento da laje ou montagem da laje pré moldada. Os painéis de arremate das lajes deverão apoiar-se no topo dos painéis das vigas e os mesmos deverão ser fixados aos mesmos através da utilização de pregos.	Carpinteiro
A montagem da laje só se iniciará com as fôrmas de pilares e vigas totalmente montadas, alinhadas, travadas e niveladas.	Carpinteiro
Lançar as chapas de madeira compensada ou painéis da laje sobre o barroteamento para execução do assoalho da mesma.	Carpinteiro
Lançar todo o assoalho utilizando para isto os eixos de referência definidos no início de todo o processo, pregando-o primeiramente nas laterais das vigas, fazendo com que este encontro seja perfeito, sem folgas e “gambiarras”, pregando depois o restante de todo assoalho nas longarinas.	Carpinteiro

Proceder ao nivelamento final dos painéis, verificando os pontos de contra flecha, se houver. A conferência do nivelamento deverá ser feita com nível a laser e ou de mangueira.	Carpinteiro
Aplicar desmoldante. Em hipótese alguma o desmoldante deve ser aplicado junto ao aço. Sempre antes da colocação de qualquer barra de aço aplicar o desmoldante.	Carpinteiro
Solicitar ao responsável pela armação que faça a montagem da armação e colocação dos espaçadores conforme projeto estrutural.	Encarregado/armador
Fazer a desforma da face lateral das vigas 3 (três) dias após o término da concretagem, e o fundo de viga e fôrmas 28 (dias) dias após a concretagem. O tempo de desforma poderá também ser definido pelo projetista ou engenheiro da obra.	Carpinteiro/Pedreiro
Manter o concreto/forma molhado durante os 7 primeiros dias após a concretagem (Cura).	Servente

VERIFICAÇÃO

CRITÉRIOS	TOLERÂNCIAS
Alinhamento externo do perímetro da forma e de cada pano de laje	± 10 mm
Dimensões e Nível da forma	± 10 mm
Esquadro da fôrma	± 4 mm do lado de 2m
Travamento e escoramentos horizontais e verticais	Firme e sem flambagem
Locação e dimensões de previsões de “passagem” de instalações	± 30 mm

APÊNDICE D - FICHA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇOS FÔRMAS

		FICHA DE VERIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS						FVS 04		
		EXECUÇÃO DE FORMA								
OBRA					PRÉDIO/LOTE:					
ITENS E TOLERÂNCIAS										
LOCAL INSPECIONADO/VERIFICADO	Alinham. Ext. do Perímetro da forma laje ± 10 mm		Dimensões de Nivel da Forma ± 10 mm		Esquadro da Fôrmas ± 4 mm do lado de 2m		Travamento e Escoramento Firme e sem Flambagem		Locação e Dimen. De Prev. "passagem" de instalações ± 30 mm	
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
RESPONSÁVEL PELA INSPEÇÃO:					RESPONSÁVEL PELA APROVAÇÃO:					
LEGENDA										
C = Conforme NC = Não Conforme										
CORREÇÃO DE NÃO CONFORMIDADES										
DESCRIÇÃO DA NÃO CONFORMIDADE					DESCRIÇÃO DA NÃO CONFORMIDADE					
CORREÇÃO DA NÃO CONFORMIDADE					CORREÇÃO DA NÃO CONFORMIDADE					
REINSPECIONADO POR:					REINSPECIONADO POR:					

APÊNDICE E - INSTRUÇÃO DE TRABALHO ALVENARIA

ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL	Nome	Cargo/Função	Assinatura
Revisão	Tiago Vilela Campos	Engenheiro Civil	
Análise Crítica e Aprovação	Filipe Clementino Gomes	Diretor Comercial	

MÉTODO EXECUTIVO NBR 8545

ATIVIDADES	RESPONSÁVEL
Executar marcação das alvenarias a partir dos eixos principais, garantindo o nivelamento da primeira fiada, o esquadro entre as paredes e as dimensões dos ambientes.	Pedreiro
Executar primeira fiada conforme paginação apresentada em Projeto de Alvenaria de Vedação	Pedreiro
Deixar os vãos para a colocação de portas compatíveis com o processo de colocação de batentes.	Pedreiro
Assentar os blocos de cada extremidade, obedecendo às galgas preestabelecidas utilizando-se uma junta de espessura aproximada de 10 mm.	Pedreiro
Juntas verticais e horizontais devem ser bem preenchidas com argamassa, evitando-se vazios que transpassem a parede e permitam a passagem de som ou que possam comprometer os vários aspectos de desempenho, como o estrutural, a estanqueidade, a permeabilidade, o TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo), entre outros.	Pedreiro
Assentar blocos das extremidades, esticar uma linha de nylon entre as galgas do vão e assentar os blocos intermediários.	Pedreiro
Ao término de cada fiada, conferir e garantir o nivelamento, o alinhamento e prumo. Deve-se conferir o prumo, através de um prumo face. A planeza e o nivelamento devem ser conferidos usando uma régua de alumínio e ou linha.	Pedreiro
Executar a amarração entre paredes por meio de intertravamento.	Pedreiro
Nas aberturas de janelas garantir o alinhamento dos vãos observando a modulação da alvenaria. Utilizar o fio de prumo da fachada quando este já estiver instalado.	Encarregado/pedreiro
As vergas e contravergas devem ser assentadas, deixando-se um traspasse de no mínimo 30cm em cada lateral do vão.	Encarregado/pedreiro
A amarração das alvenarias à estrutura deve ser realizada a cada 3 fiadas por meio de telas galvanizadas com 1,24mm de diâmetro e malha de 15x15 mm, galvanizadas com 50cm de comprimento. Metade da tela deverá estar aderida a argamassa de assentamento e a outra metade chumbada nos pilares através de fixador mecânico.	Encarregado/pedreiro
	
Quando aplicável, executar o encunhamento após 7 dias, ou conforme orientação do engenheiro e após as alvenarias de pelo menos três pavimentos imediatamente acima terem sido levantadas, por um dos seguintes processos construtivos: ▪ Argamassa com expensor, com altura de 30mm, aproximadamente; ▪ Poliuretano expandido, com altura de 20mm, aproximadamente; ▪ Tijolos dispostos obliquamente, com altura de 150mm, aproximadamente.	Pedreiro
A fixação superior na junção alvenaria-viga ou alvenaria-laje, a fixação lateral entre alvenaria-pilar e alvenaria-alvenaria deve ser perfeitamente vedada.	Pedreiro

VERIFICAÇÃO

CRITÉRIOS	TOLERÂNCIAS
Nivelamento, alinhamento e esquadro da fiada de marcação	± 3 mm em 1,00 metro
Planicidade e prumo da alvenaria, cota inferior das janelas	± 3 mm em 1,10 metro
Planicidade e prumo da alvenaria (ambiente interno)	± 5 mm em 2,8 metro
Dimensionamento, posicionamento, nivelamento e esquadro de portas e janelas	± 5 mm
Preenchimento juntas verticais e horizontais.	Visual após a conclusão da alvenaria e sem existência de vazios.
Fixação superior (alvenaria - viga), lateral (alvenaria - pilar) e alvenaria-alvenaria.	Sem existência de vazios.

APÊNDICE F - FICHA DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇOS ALVENARIA

	FICHA DE VERIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS	FVS 08
	EXECUÇÃO DE ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL	

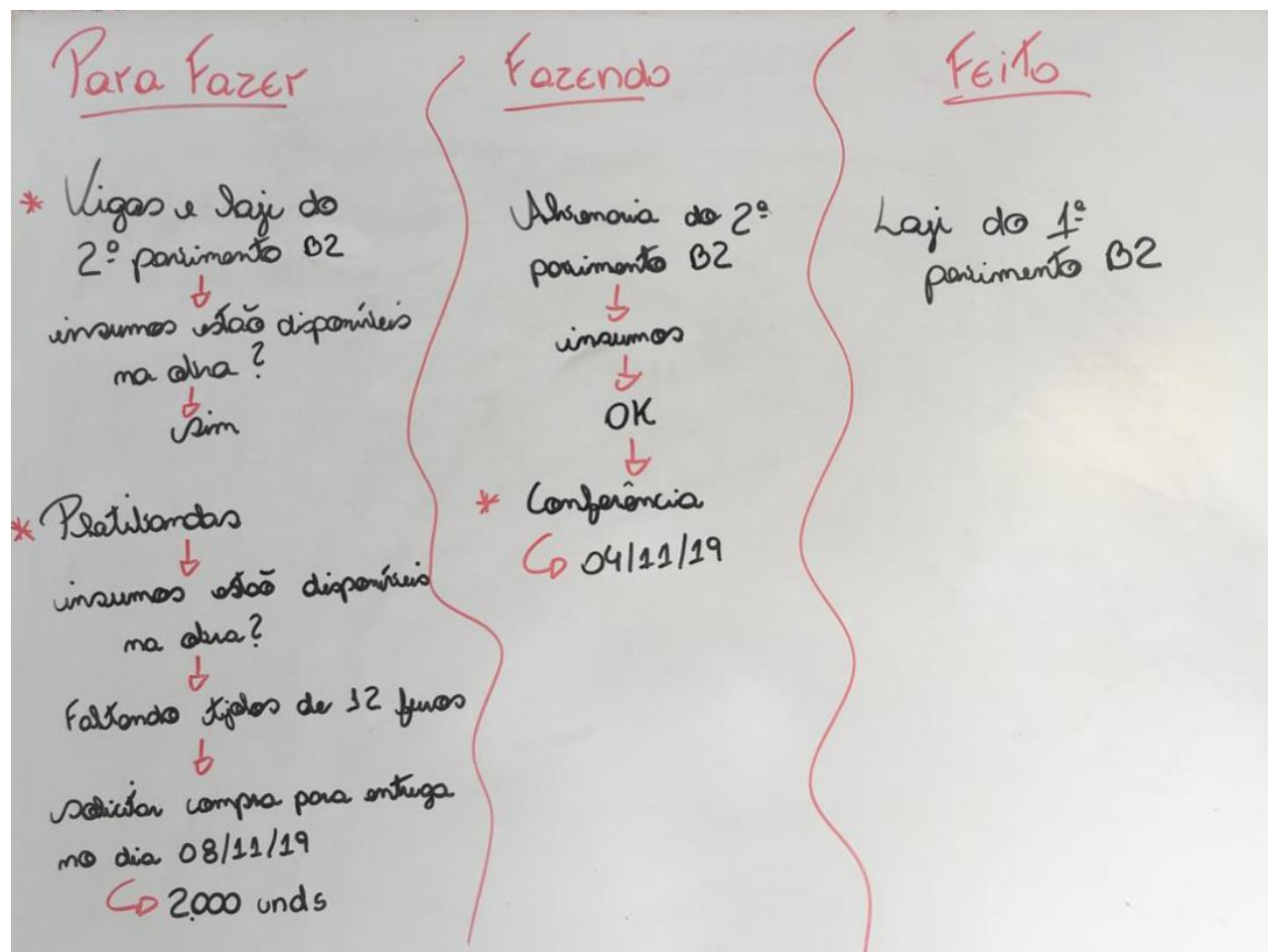
OBRA	PRÉDIO/LOTE:
-------------	---------------------

LOCAL INSPECIONADO/VERIFICADO	ITENS E TOLERÂNCIAS											
	Nivel.,alinham.e esquadro fiada ± 3mm em 1 metro		Plan.e prumo da alvenaria,cota inf. Jan. ± 3 mm em 1,10m		Planicidade e Prumo da Alv.(amb.interno) ± 5,0 mm em 2,8 metro		dimens.,posic., nivel.e esqua. Portas ± 5 mm		Preench. juntas vert. e horizontais visuais apos conclusão da alven. e s/ vazios		Fix. sup(alve-viga), lat(alve-pilar), alv-alv. Sem existência de vazios	
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
RESPONSÁVEL PELA INSPEÇÃO:					RESPONSÁVEL PELA APROVAÇÃO:							

LEGENDA	
C = Conforme	NC = Não Conforme
CORREÇÃO DE NÃO CONFORMIDADES	
DESCRIÇÃO DA NÃO CONFORMIDADE	DESCRIÇÃO DA NÃO CONFORMIDADE
CORREÇÃO DA NÃO CONFORMIDADE	CORREÇÃO DA NÃO CONFORMIDADE
REINSPECIONADO POR:	REINSPECIONADO POR:

APÊNDICE G - GESTÃO A VISTA ADOTADO

Exemplo de uma etapa da obra. São apresentadas nele: as atividades em execução (fazendo), o que foi feito por último (feito) e as atividades que serão executadas em sequência (para fazer).



APÊNDICE H - CARACTERIZAÇÃO DA EQUIPE ADOTADA

PEDREIRO	
Organizam e preparam o local de trabalho na obra; constroem fundações e estruturas de alvenaria. Aplicam revestimentos e contrapisos.	
EDUCAÇÃO ESCOLARIDADE	EXPERIÊNCIA
☐ Não aplicável ☐ Médio ☒ Alfabetizado ☐ Técnico/Superior Incompleto ☐ Fundamental ☐ Técnico/Superior Completo	☐ Não aplicável ☒ Teste prático ☐ 03 meses ☒ 06 meses ☐ 12 meses ☒ Formado na EMPRESA
COMPETÊNCIAS DESEJÁVEIS	TREINAMENTO
	Conforme Plano de Qualidade da Obra

SERVENTE/AJUDANTE	
Auxiliam os oficiais nas atividades desenvolvidas pelos mesmos.	
EDUCAÇÃO ESCOLARIDADE	EXPERIÊNCIA
☒ Não aplicável ☐ Médio ☐ Alfabetizado ☐ Técnico/Superior Incompleto ☐ Fundamental ☐ Técnico/Superior Completo	☒ Não aplicável ☐ Teste prático ☐ 03 meses ☐ 06 meses ☐ 12 meses ☐ Formado na EMPRESA
COMPETÊNCIAS DESEJÁVEIS	TREINAMENTO
	Conforme Plano de Qualidade da Obra

MESTRE DE OBRAS / ENCARREGADO	
Supervisionam equipes de trabalhadores. Elaboram documentação técnica e controlam recursos produtivos (arranjos físicos, equipamentos, materiais, insumos e equipes de trabalho). Controlam padrões produtivos tais como inspeção da qualidade dos materiais e insumos utilizados, orientação sobre especificação, fluxo e movimentação dos materiais e sobre medidas de segurança dos locais e equipamentos da obra. Administram o cronograma de trabalho.	
EDUCAÇÃO ESCOLARIDADE	EXPERIÊNCIA
☐ Não aplicável ☐ Médio ☒ Alfabetizado ☐ Técnico/Superior Incompleto ☐ Fundamental ☐ Técnico/Superior Completo	☐ Não aplicável ☐ Teste prático ☐ 03 meses ☐ 06 meses ☒ 12 meses ☐ Formado na EMPRESA
COMPETÊNCIAS DESEJÁVEIS	TREINAMENTO
	Conforme Plano de Qualidade da Obra Procedimentos (aplicáveis) Política de Qualidade

APÊNDICE I – TABELA RESUMO COM TODOS OS DADOS AVALIADOS

Atividades	Fatores avaliados em relação as RUP's	P-valor (p<0.05)	Médias das RUP's por Metodologia			Dias trabalhados por Metodologia		
	Metodologia (tradicional x lean construction)		Tradicional	Lean Construction	Diferença Percentual entre o Lean e o Tradicional	Tradicional	Lean Construction	Diferença Percentual entre o Lean e o Tradicional
Elevação de Alvenaria	Há diferença significativa	0.00956	0,914	0,608	33,49%	28	23	17,86%
Fôrmas	Há diferença significativa	0.0169	0.909	0.822	9,51%	28	24	14,29%
Armação	Há diferença significativa	0.000143	0,154	0,089	42,47%	12	8	33,33%
Chapisco Interno	Há diferença significativa	0.000263	0,170	0,106	37,55%	9	6	33,33%
Chapisco Externo	Não há	0.13	0,295	0,142	51,86%	12	8	33,33%
Emboço/reboco Interno	Há diferença significativa	2.71E-14	0,460	0,359	21,99%	26	20	23,08%
Emboço/reboco Externo	Há diferença significativa	3.04E-05	0,439	0,331	24,60%	12	9	25,00%
Assentamento de revestimentos	Há diferença significativa	9.51E-05	1,124	0,897	20,25%	15	12	20,00%
Assentamento de pisos	Não há	0.0793	0,645	0,498	22,78%	9	7	22,22%

APÊNDICE J – APRESENTAÇÃO REALIZADA DURANTE TREINAMENTO DA EQUIPE

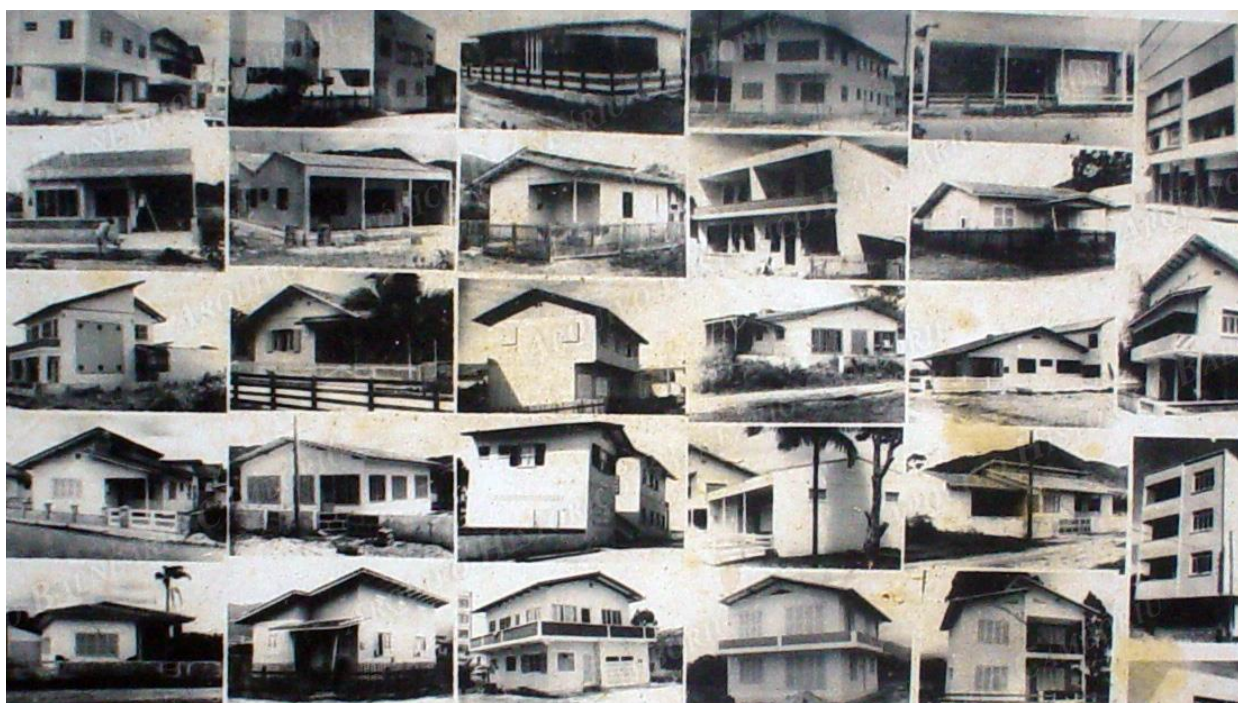
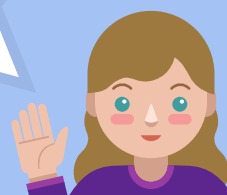
Bem vindos



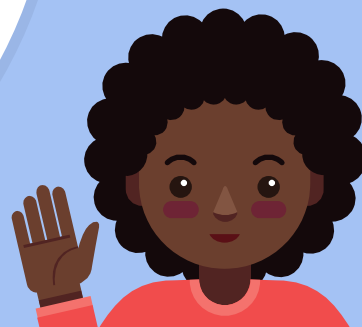
Meu avô

e seus avôs!

Como conseguiram a casa própria?
Quem construiu?
Tinha financiamento?



Inexistiu até os anos 60 algum grande interesse nas políticas habitacionais.



O Banco Nacional da Habitação (BNH) foi uma empresa pública brasileira, apesar de ter o nome de Banco, tinha a sua sede em Brasília e era voltado ao financiamento e à produção de empreendimentos imobiliários, nos mesmos moldes do que se faz atualmente a Caixa Econômica Federal do qual o sucedeu.

1964

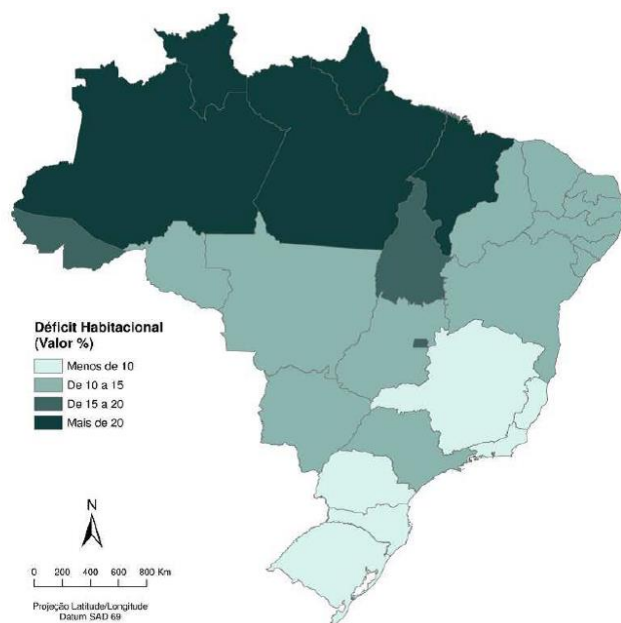


1986

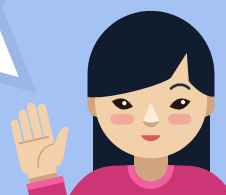
Foram muitas as razões que levaram o BNH ao seu fim, dentre elas:

- Inadimplência
- corrupção
- fragilidade em relação à flutuações macroeconômicas.
- Além disso, não foi capaz de atingir a principal demanda do déficit de habitação do país – aqueles com renda inferior a 5 salários mínimos
- Um grande insucesso enquanto grande impulsionador da problemática habitacional brasileira





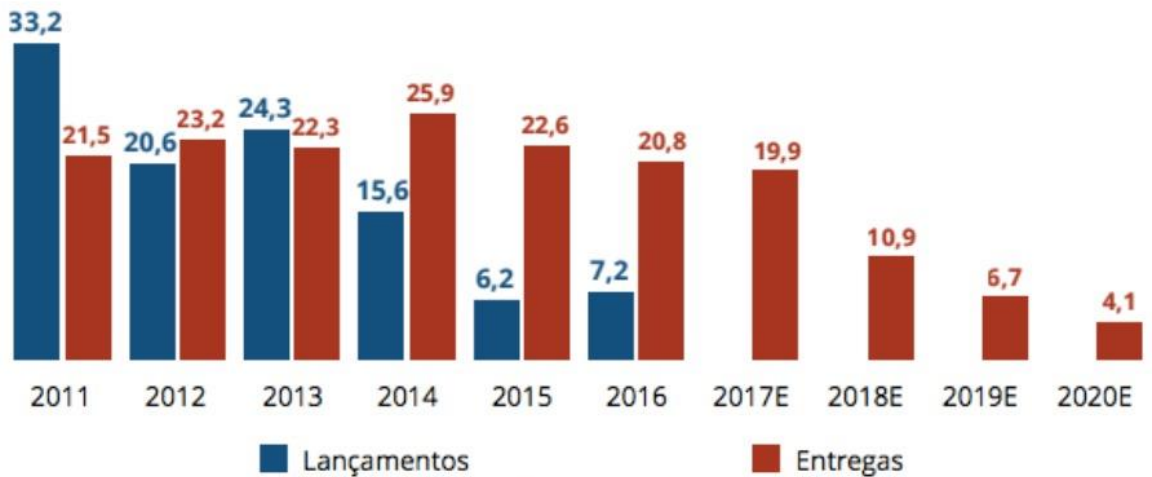
O censo demográfico de 2010 apontou que o Brasil apresenta um déficit habitacional de **6,490 milhões de unidades**, o correspondente a 12,1% do total de domicílios no país.



**6,4 diminuiu para
5,2 atualmente**



Lançamentos x Entregas (R\$ bilhão)



Fontes: Empiricus Research, Rodobens, Cyrela, Rossi, PDG, Tecnisa, Helbor, Gafisa, EzTec e Direcional

Vamos
conversar
sobre a
Qualidade?



A EMPRESA atua no segmento da construção civil, **buscando a satisfação das partes interessadas, melhoria contínua** do seu Sistema de Gestão e **atendimento aos requisitos** aplicáveis.

Quando começou?

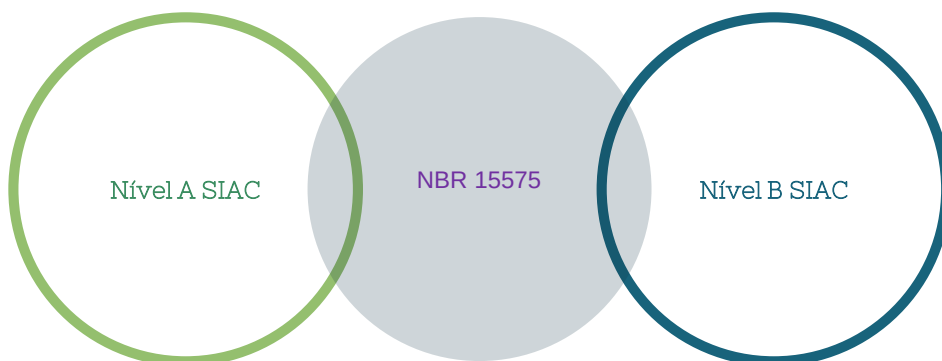


Em 1991 foi elaborado, mas aplicado na construção civil em 1998.

O PBQP-H é uma ferramenta do Governo Federal criado para honrar os compromissos firmados pelo Brasil na assinatura da Carta de Istambul em 1996 durante a Conferência do Habitat II.



Se aplica nos 2 níveis



354

empresas certificadas

Estado: MG – Nível: A – Regime: SiAC – Situação: Vigente

+230 mil

empresas de construção civil, no Brasil, não possuem
certificação PBQP-H

Hora de voltar a crescer

6 meses seguidos de alta
na construção civil

Juros baixos

Mercado com
poucos
lançamentos



Política da Qualidade

A EMPRESA atua no segmento da construção civil, **buscando a satisfação das partes interessadas, melhoria contínua** do seu Sistema de Gestão e **atendimento aos requisitos** aplicáveis.



Regimento SIAC 2017



Diante de tudo o que estamos presenciando no processo de evolução das construções, precisamos estar abertos para uma nova maneira de construir, novos modelos de consumo de energia, consumir menos, poluir menos, menos custo de manutenção.

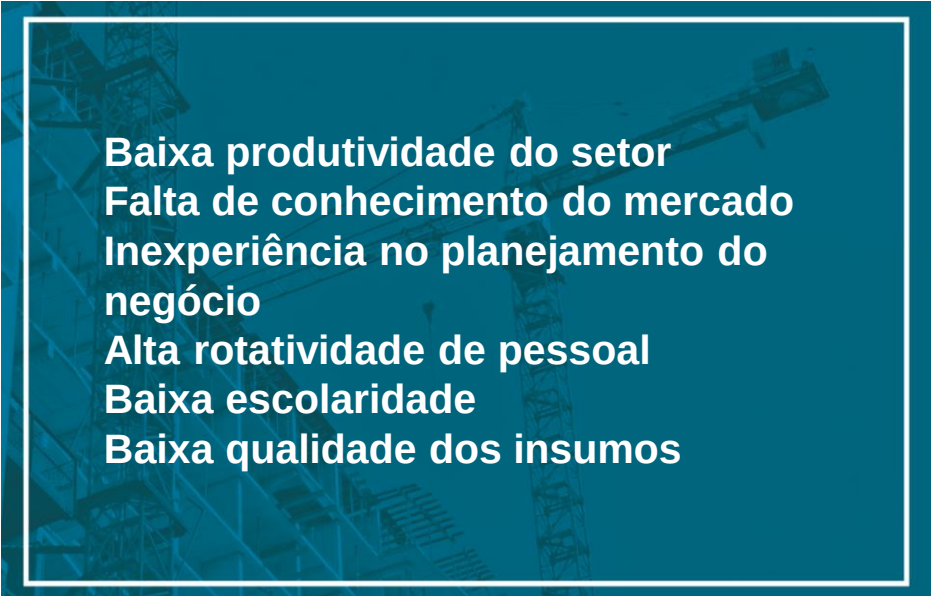
Você conhecem este senhor?



Seu maior projeto, o Trump Village, em Coney Island – New York

Fez fortuna no ramo da construção civil através de subsídios públicos e benefícios fiscais.

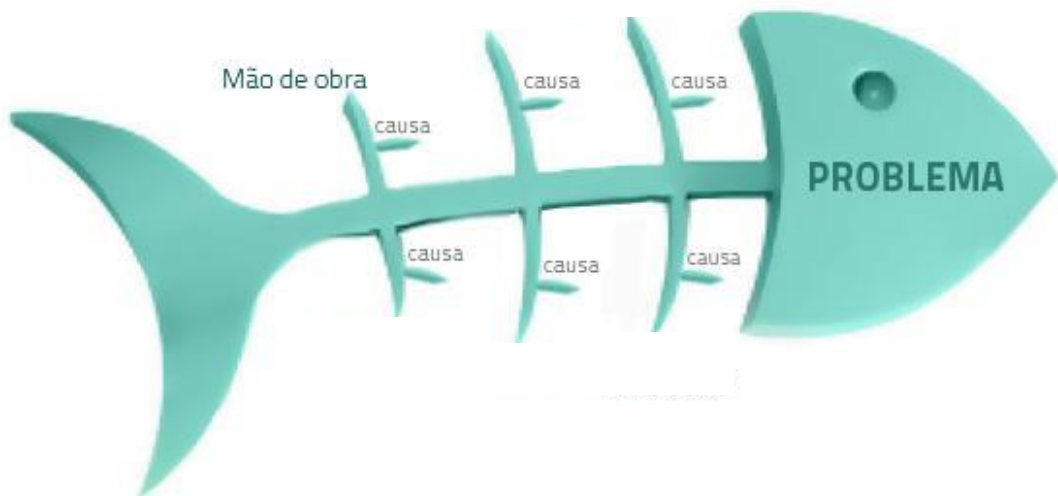
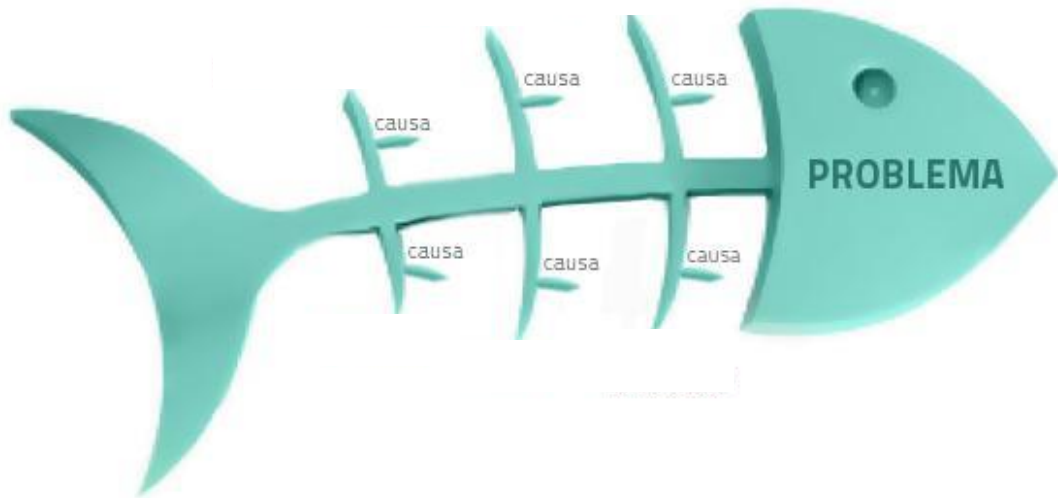
Fred construiu prédios nos bairros do Brooklyn e do Queens, terminando as obras por um valor abaixo do orçamento financiado pelo Estado.



Baixa produtividade do setor
Falta de conhecimento do mercado
Inexperiência no planejamento do negócio
Alta rotatividade de pessoal
Baixa escolaridade
Baixa qualidade dos insumos

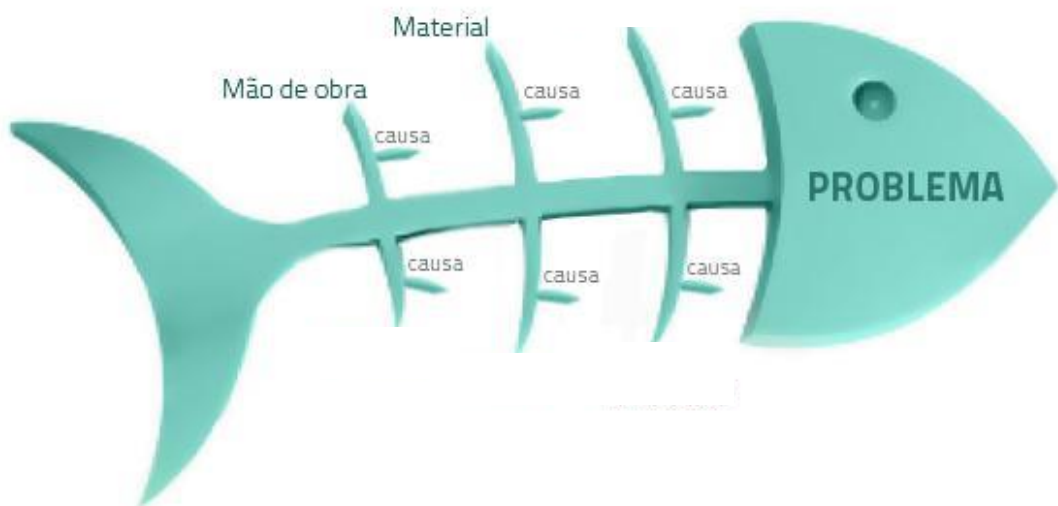
Política da Qualidade

A EMPRESA atua no segmento da construção civil, **buscando a satisfação das partes interessadas, melhoria contínua** do seu Sistema de Gestão e **atendimento aos requisitos** aplicáveis.



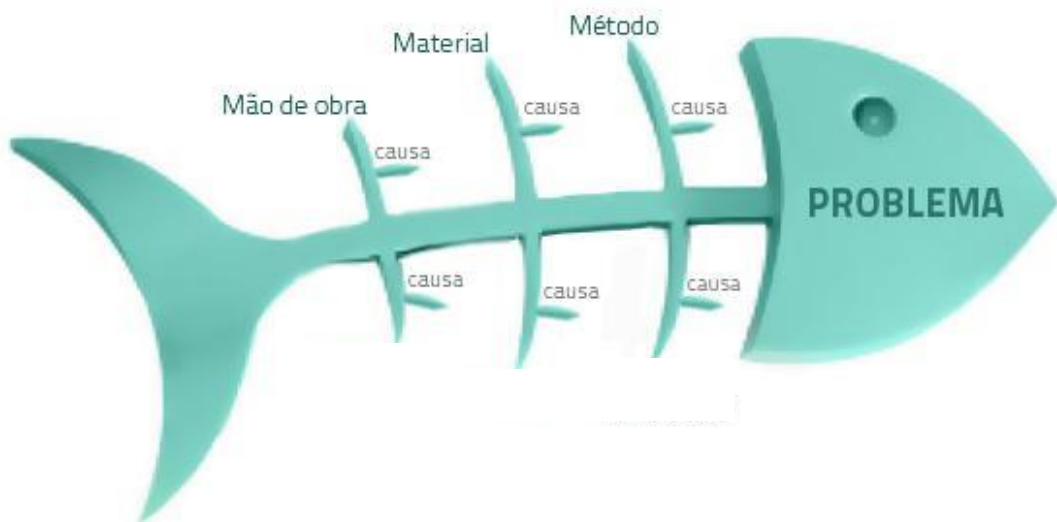
Avaliação de Habilidades

Todos foram avaliados, e se estão aqui...



Descrição de Materiais

Especificar, Ensaiar, Verificar, Armazenar e Manusear.



Instruções de Trabalho

Para os serviços considerados controlados.

Obra

Precisamos auditar:

Elevação de Alvenaria

Armação

Fôrmas

Chapisco Interno e Externo

Reboco Interno e Externo

Contrapiso

Assentamento de revestimentos e de piso



Manutenção de máquinas

Ações preventivas para evitar que o equipamento pare de funcionar.



Equipamentos de medição

A partir de trena aferida e lacres para identificação.



Segurança & Saúde

Exames em dia e uso de Equipamentos.

Convenção Coletiva do Trabalho

Política da Qualidade

A EMPRESA atua no segmento da construção civil, **buscando a satisfação das partes interessadas, melhoria contínua** do seu Sistema de Gestão e **atendimento aos requisitos** aplicáveis.