

# ANÁLISE MATEMÁTICA PARA DIAGNÓSTICO DO GRAU DE IMPLEMENTAÇÃO DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

## *Mathematical analysis for the diagnosis of the Lean Construction implementation stage*

Tatiana Gondim do Amaral <sup>1</sup>, Letícia Guimarães Oka <sup>2</sup>, Carlos Augusto Bouhid de Camargo Filho <sup>3</sup>

Recebido em 06 de outubro de 2017; aceito em 08 de dezembro de 2017; disponível on-line em 21 de março de 2018.



### PALAVRAS CHAVE:

*Lean Construction;*  
*Métodos de Avaliação;*  
*Grau de Implementação;*  
*Resultados Matemáticos;*  
*Sistema de Inferência Fuzzy.*

### KEYWORDS:

*Lean Construction;*  
*Evaluation Methods;*  
*Implementation stage;*  
*Mathematic results;*  
*Fuzzy Inference System.*

**RESUMO:** A *Lean Construction* é uma filosofia que vem crescendo nos diversos meios de construção do Brasil e do mundo. Apesar de a maioria das empresas construtoras ainda estarem em processo inicial de implementação dessas práticas e ferramentas, é fundamental que sejam elaborados mecanismos eficazes na avaliação desse processo, como é o caso do *Lean Construction Assessment Tool (LCAT)*. Esse método de avaliação é utilizado nesse trabalho para avaliar o grau de implementação enxuta em seis empresas construtoras em Goiânia. A partir dos dados obtidos, foi realizado o cálculo do grau de implementação *Lean* utilizando médias aritméticas, médias ponderadas por especialistas e médias baseadas no Sistema de Inferência *Fuzzy*. O trabalho tem como objetivo principal analisar os resultados advindos do diagnóstico *Lean* da aplicação da ferramenta, avaliando as potencialidades de cada média utilizada. Busca-se ainda avaliar o processo de gestão da produção das empresas pesquisadas, destacando falhas no sistema e como esse poderia ser melhorado. As médias obtidas apresentaram pequenas variações, como rapidez de obtenção, interferência de outras variáveis no processo e análise de especialistas, sendo possível concluir sobre as diferentes potencialidades no emprego de cada uma. A partir desse estudo foi possível estabelecer um diagnóstico a partir da interação entre meio acadêmica e ambiente profissional.

**ABSTRACT:** The *Lean Construction* is a philosophy which is growing in the diverse communication's means in Brazil and around the world. Although most of the construction companies are in the initial stage of these practices and tools implementation, the development of efficient mechanisms to evaluate this process is vital, such as the *Lean Construction Assessment Tool (LCAT)*. This evaluation method is utilized in this research to evaluate the lean implementation stage in six construction companies in Goiânia. From the obtained data, the lean implementation stage was calculated using arithmetic averages, weighted averages and averages based in the *Fuzzy Inference System*. This work has as main goal to analyze the results from the *Lean Diagnosis* obtained using the tool and evaluate the potentialities that each average owns. It's also a goal to evaluate the management process in the studied companies, highlighting failures in the system and how they can be improved. The averages obtained present small variations, such as speed of procurement, other variables interferences and the specialists' analysis, being possible to conclude about different potentialities in each's use. From this study, it was possible to establish a diagnosis based in the interaction between the academic and professional environment.

\* Contato com os autores:

<sup>1</sup> e-mail: tatiana\_amaral@hotmail.com ( T. G. Amaral )

Enga. Civil. Doutora. Professora da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal do Goiás - EECA/UFG.

<sup>2</sup> e-mail: letyoka@gmail.com ( L. G. Oka )

Graduanda do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal do Goiás - EECA/UFG.

<sup>3</sup> e-mail: carlos\_bouhid@hotmail.com ( C. A. B. Camargo Filho )

Mestre pelo Programa de Pós Graduação em Estruturas, Geotecnia e Construção Civil – PPG – GECON da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal do Goiás - EECA/UFG.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), em 2016 o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro sofreu uma redução percentual de 5,2% e o PIB referente à construção civil reduziu 3,6%, conforme ilustrado na FIGURA 1. Os resultados apontam uma melhora com relação aos parâmetros apresentados de 2015, em que o PIB brasileiro reduziu 6,5%, enquanto os dados referentes à construção civil reduziram 3,8%. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2016 a Construção Civil representou 5,6% do PIB gerado pelo país.

De acordo com os dados da Fundação Getúlio Vargas (FGV) e do Instituto Brasileiro de Economia (IBRE), os números da construção civil

no país começam a elevar e o índice de confiança da construção vem aumentando. A mudança identificada pelo levantamento é significativa. Finalmente a percepção empresarial em relação à situação corrente dos negócios melhora, seguindo a tendência das expectativas estabelecida nos meses anteriores. Mas a distância entre os dois indicadores permanece elevada e o Índice de Situação Atual (ISA) continua em nível crítico (Figura 2) (FGV/IBRE, 2017).

Em momentos como esse, é fundamental lembrar de conceitos como “gestão”, de modo a alavancar o setor. Gestão é administração dos recursos para produzir bens e serviços em prol da sociedade. Se não há gestão, têm-se problemas em todas as esferas. A empresa é apenas uma parte do processo daquilo que ela se propõe a entregar (SINDUSCON, 2017).

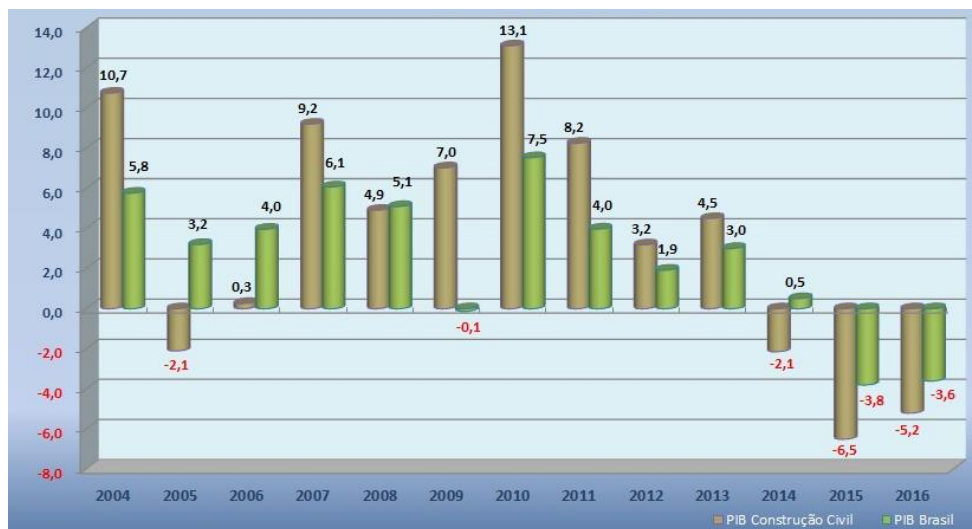


FIGURA 1: PIB Brasil x PIB Construção Civil (Variação %) – 2004 a 2016.

FONTE: CBIC (2017).



FIGURA 2: Índice de Confiança na Construção.

FONTE: FGV/IBRE (2017).

No contexto atual, torna-se necessário que sistemas, metodologias e ferramentas sejam utilizados para garantir a melhoria, utilização inferior de recursos sem que se perca a qualidade e eficiência do processo. Nesse sentido, surge a Construção Enxuta. Segundo Womack et al. (1990), o termo *Lean* é adotado porque são utilizados menos recursos em comparação com a produção em massa, ou seja, metade do esforço humano na fábrica, metade do espaço para a fabricação, metade do investimento em ferramentas, metade das horas de engenharia para desenvolver um novo produto e na metade do tempo. Ainda segundo os autores, produtores da *Lean production* buscam sempre a perfeição; neste caso, reduzindo continuamente custos, buscando zero defeito, zero estoque e uma variedade de produtos infinita.

O mercado está passando por mudanças gerenciais e se começa a perceber uma mudança no mercado com relação à melhoria tecnológica e gerencial. Nesse sentido observa-se uma tendência das empresas pela busca por conhecimentos relacionados aos conceitos *Lean* (Silva et al., 2014).

O uso das práticas da construção enxuta tem se espalhado gradualmente na indústria da construção. Portanto, mecanismos são necessários para avaliar o seu uso, facilitando na identificação dos pontos fortes e fracos do processo de implementação da *Lean Construction* (ETGES et al., 2013).

Camargo Filho (2017), na tentativa de implementar os princípios da construção enxuta, muitas empresas se deparam com dificuldades que muito tem a ver com a dificuldade de analisar o desenvolvimento e medir ganhos obtidos a partir do esforço.

Uma forma de avaliação é medir o grau de implementação *Lean*. Entretanto, há complexidade na medição do grau de implementação *Lean*. Essa complexidade surge devido (a) ao inerente conceito multidimensional de “enxuto”; (b) indisponibilidade de informações sobre a prática manufatureira que poderia ser

usada como *benchmarking* ao avaliar o grau enxuto; e, (c) a necessidade para a aplicação da subjetividade do julgamento humano sobre as práticas *Lean*, o que envolve imprecisão e pré-julgamento devido à variação do conhecimento e experiência do avaliador (SUSILAWATI et al., 2014).

Silva (2011) utiliza em sua metodologia de trabalho a lógica *Fuzzy*, apresentando um *checklist* de avaliação do grau de implementação enxuta em empresas construtoras. Trata-se de um trabalho inicial que serviu como referência para futuros estudos, como a pesquisa de Camargo Filho (2017).

Carvalho (2008) comenta que existem ainda cenários em que a empresa não obtém resultados satisfatórios, logo os sistemas passam a operar com baixa eficiência fazendo com que a empresa retome a utilização do sistema tradicional, pois a inovação nestes casos não proporcionou o benefício esperado. Essa ineficiência ocorre geralmente quando os sistemas produtivos não foram suficientemente estudados, testados e aplicados na realidade da empresa.

Miron, L., Talebi, S., Koskela, L., e Tezel, A. (2016), usam um modelo estrutural lógico para sintetizar o que foi encontrado na literatura e para estabelecer uma proposta inicial para avaliação dos programas de melhorias contínuas no contexto da construção enxuta. Acreditam que ainda existe uma lacuna entre as melhorias teóricas e a avaliação das melhorias contínuas desses programas na prática.

Nessa pesquisa serão mencionadas ferramentas desenvolvidas para avaliação do grau de implementação *Lean* nas empresas apresentadas por diferentes autores, suas características e limitações. E especificamente detalhará a aplicação do método de avaliação criado por Silva (2011) e aprimorado por Camargo Filho (2017) por meio da aplicação do formulário desenvolvido, no sentido de demonstrar uma evolução aos métodos já aplicados por outros autores.

## 2. CONSTRUÇÃO ENXUTA E AS FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO UTILIZADAS

Nesse item, serão abordados os conceitos da Construção Enxuta e as ferramentas de avaliação utilizadas para mensurar o grau de implementação desses conceitos nas empresas. Se apresenta também os fundamentos do Sistema de Inferência *Fuzzy* e o formulário desenvolvido por Camargo Filho (2017), ferramenta de avaliação aplicada nessa pesquisa.

### 2.1 CONSTRUÇÃO ENXUTA E FORMULÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Koskela (1992) foi o pioneiro nas pesquisas que relacionavam *Lean Thinking* à *Lean Construction*. De acordo com o autor, essa nova filosofia refere-se à uma série de metodologias, técnicas e ferramentas que tiveram como origem o Toyotismo nas indústrias manufatureiras, em que grandes ganhos econômicos, em desempenho foram alcançados com essa filosofia.

Womack e Jones (1996) também apresentaram grande contribuição na formalização de conceitos do pensamento enxuto. Após analisar as cadeias de produção de 50 empresas ao redor do mundo, eles elaboraram cinco conceitos básicos da mentalidade enxuta, princípios amplos e que possibilitavam a aplicação dos mesmos em diversas áreas da manufatura. Diferentemente de Koskela (1992), Womack e Jones (1996) não tinham como foco a indústria da construção, mas o processo produtivo das indústrias de modo geral.

De acordo com Howell (1999), a construção enxuta é uma prática atual que tem como objetivo melhor conciliar a necessidade dos clientes utilizando a menor quantidade possível de recursos. Mas ao contrário das práticas recentes, a construção enxuta é baseada nos princípios de gerenciamento da produção, na física da construção.

Com o desenvolvimento do pensamento enxuto e sua conseqüente implementação na gestão de produção das empresas, surgiu então a

necessidade da elaboração de ferramentas que pudessem avaliar esse processo, analisando o quão *Lean* essas empresas eram, em qual grau de implementação das filosofias elas se encontravam.

Salem et al. (2006) desenvolveram um *checklist* de avaliação *Lean* a partir do estudo de um projeto de construção em uma empreiteira em Ohio em que elementos específicos da Construção Enxuta foram testados. O *checklist* apresentava seis categorias advindas da produção enxuta mas com aplicabilidade na construção enxuta, sendo elas: *last planner*, aumento da visualização, estudos preliminares, reuniões participativas – grupo de solução de problemas (*huddle meetings*), os 5S's e qualidade à prova de falhas. Os resultados obtidos após três avaliações realizadas em que foram atribuídos os seguintes graus de implementação: nenhum (N), muito baixo (VL), baixo (L), moderado (M), alto (H) e muito alto (VH). Ao final, foi produzido um gráfico de radar com o impacto dessas ferramentas do desempenho do projeto.

Com base nos fundamentos de estudo de Koskela, Carvalho (2008) elaborou um questionário que avaliou cinco componentes de uma empresa construtora, sendo eles: diretoria, engenharia, operários, fornecedores e projetistas. Diferentemente de outros estudos, Carvalho (2008) consultou clientes sobre suas percepções sobre os princípios enxutos da empresa. Quatro níveis de implementação foram atribuídos a cada tópico, sendo “Nível 0” para princípios não presentes ou com grandes inconsistências em sua implementação, crescendo de forma gradual até o “Nível 3” em que o princípio está totalmente presente, efetivamente implementado e exhibe melhoramento em sua execução, nos últimos 6 meses. A nota final foi atribuída com base na porcentagem de atendimento aos princípios e as características associadas à essa porcentagem.

Etges (2012) desenvolveu um protocolo de auditoria do uso das práticas da Construção Enxuta a partir de quatro etapas fundamentais: revisão da literatura tendo como base o material publicado no *International Group for Lean Construction (IGLC)* entre 1993 e 2010 e as

principais palavras-chave dos artigos, definição de fontes de evidência para avaliar o uso de cada categoria de prática, definição de pesos referentes à cada prática, com base na opinião de sete especialistas da Construção Enxuta e aplicação do protocolo a um empreendimento da construção civil. Foram instituídas 103 práticas e o desempenho obtido pela a construtora em cada categoria foi apresentado em percentuais.

## 2.2 SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Uma nova abordagem à determinação do grau de implementação *Lean* de empresas construtoras é destacada por Silva et al., (2014).

*Estudos foram realizados utilizando checklists e comparando a porcentagem de cada resposta (ocorrência de sim ou não), seguindo a lógica tradicional. Entretanto, a experiência tem mostrado que em muitos casos as respostas não são completamente sim ou não, mas elas emergem com certos graus de veracidade. A lógica Fuzzy se encontra no domínio de significados incertos, conceitos subjetivos que definem experiência técnica. A lógica Fuzzy tem a intenção de representar esses conceitos matematicamente (Silva et al., 2014).*

Segundo Susilawati et al., (2014), o método *Fuzzy* é uma teoria matemática que permite que ambiguidades e imprecisão sejam modelados através dos conjuntos *Fuzzy*. Os métodos *Fuzzy* tem sido implementados em muitas pesquisas e aplicados em áreas como economia, indústrias, operações manufatureiras, gerenciamento de produção, engenharia e outros. Silva R., Amaral e Silva F. (2014) apresentaram então uma ferramenta para a avaliação do grau de implantação da construção enxuta em empresas construtoras baseada na lógica *Fuzzy*. A forma de apresentação de um método matemático mais sofisticado trata-se de um avanço que já era observado no contexto da produção enxuta e que ainda não ocorria no contexto da construção enxuta. Os métodos de decisão baseados em *Fuzzy*

podem ajudar a determinar o *ranking* relativo de importância na avaliação da *performance* dos sistemas de medição.

Chan et al., (1997) acreditam que a abordagem *Fuzzy* pode auxiliar as organizações a selecionar as tecnologias de produção em um ambiente incerto.

Silva (2011) elaborou um trabalho inovador na aplicação do Sistema de Inferência *Fuzzy* para estabelecimento de diagnósticos e acompanhamento da aplicação da filosofia da construção enxuta em empresas da construção civil. Por meio de *checklists* e a posterior ponderação das variáveis utilizando *Fuzzy*, ele buscou reduzir as incertezas do método tradicional de avaliação.

## 2.3 FORMULÁRIO APLICADO NA PESQUISA

O formulário desenvolvido por Camargo Filho (2017) tem como principal embasamento teórico os estudos de Womack e Jones (1996). Criado com o objetivo de avaliar o grau de implementação das práticas da Construção Enxuta em empresas construtoras, passou por revisões até consolidar-se na versão 3.0. Camargo Filho (2012) inicialmente elaborou o questionário na versão 2.0 que avaliava 98 práticas distribuídas em 10 categorias, sendo elas: Gestão da Qualidade, Controle de Custos, Segurança do Trabalho, Gerenciamento Visual, Melhoria Continua, Tecnologia da Informação, Recursos Humanos, Logística e Gerenciamento da Cadeira de Suprimentos, Gestão de Projetos e Desenvolvimento do Produto, Planejamento e Controle da Produção. O autor realizou uma aplicação piloto em 17 empresas com o objetivo de validar o questionário, entretanto não foram obtidos resultados satisfatórios com relação à sua aplicabilidade, devido à organização dos seus critérios, pois uma grande quantidade deles contemplavam somente práticas ligadas diretamente à gestão da qualidade, o que poderia comprometer a clareza nos resultados obtidos e o real diagnóstico *Lean* da empresa.

O autor buscou simplificar o questionário

de modo a torná-lo mais direto, evitando a repetição e o retrabalho por meio da implementação de uma sequência lógica de aplicação, em que não se fizesse necessário o retorno a questões anteriormente respondidas ou fontes de evidência previamente consultadas. Além disso, retirou-se itens que fossem dados como obrigatórios ou relacionados às legislações vigentes relacionadas à saúde e segurança, sustentabilidade e qualidade, focando em itens específicos característicos da Construção Enxuta.

O sistema de inferência *Fuzzy* foi utilizado, juntamente com a versão final do formulário, para obtenção do diagnóstico das empresas. Foi proposto um sistema com quatro variáveis de entrada e uma de saída, composto por 81 regras de inferência.

A versão 3.0 do formulário conforme ilustrado no Quadro 1, se apresenta com 4 categorias, sendo elas: Gestão da Qualidade, Gestão da Cadeia de Suprimentos, Planejamento e Controle da Produção e Gestão de Projetos. Dentro de cada categoria existem 84 práticas *Lean*, sendo que a porcentagem final de atendimento à cada um desses critérios define o quão enxuta a empresa é. As notas são distribuídas em três estágios de implementação: 0 (zero), trata-se de um processo ou utilização de ferramenta não presente ou em estágio bem inicial de implementação, a nota 1 (um) significa que o mesmo se encontra em estágio de amadurecimento e 2 (dois) refere-se à uma ferramenta ou processo implementado e em melhoria contínua.

QUADRO 1: Formulário de Camargo Filho (2017).

CATEGORIA	PRERREQUISITOS	CRITÉRIOS
Gestão da Qualidade	Sistema de Gestão da Qualidade Certificado	Treinamento dos Funcionários
		Solução de Problemas
		<i>Benchmarking</i> Interno e Externo
		Utilização de <i>Poka-yokes</i> e Inovação Tecnológica
		Avaliação do Desempenho
		Políticas Motivacionais e Satisfação do Funcionário
		Organização do ambiente de trabalho e canteiro de obras
Gestão da Cadeia de Suprimentos	Critérios definidos para a seleção de fornecedores	Seleção de Fornecedores
		Relacionamento com fornecedores
		Processo de compra
	Controle de entrega de materiais quanto atendimento às especificações e qualidade	Controle de estoque e armazenamento de materiais
		Controle do espaço físico
		Distribuição interna de suprimentos
		Controle de custos na cadeia de suprimentos
Planejamento e Controle da Produção	Processo de Planejamento e Controle da Produção formalizado	Planejamento de longo prazo
		Planejamento de médio prazo
	Plano de longo prazo transparente	Planejamento de curto prazo
		Mapeamento do fluxo de valor
	Fluxo geral de atividades definido	Controle da produção
		Controle de custos
Gestão de Projetos	Departamento interno responsável pela gestão de projetos	Planejamento do desenvolvimento de projetos
		Compatibilização e validação de projetos
	Processo de verificação de projetos quanto à qualidade e especificações	Identificação do valor requerido pelo cliente
		Identificação de problemas em projetos

### 3. METODOLOGIA

Neste tópico será caracterizada a metodologia utilizada no desenvolvimento da pesquisa por meio da sua classificação, delineamento, determinação de critérios para seleção das empresas participantes, caracterização das empresas analisadas, aplicação do questionário de Camargo Filho (2017), e, por fim, como ocorreu o processamento de dados.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi classificada quanto à sua abordagem, natureza, objetivos e procedimentos.

Com relação à abordagem, a pesquisa se classifica como quantitativa ou qualitativa, por analisar os resultados numéricos provenientes da aplicação do formulário que avalia o grau de

implementação enxuta nas seis empresas avaliadas na cidade de Goiânia. É considerada também como qualitativa por apresentar significados, sentidos, resultados e interpretações teóricas a partir das notas atribuídas a cada categoria de implementação *Lean*.

Quanto à natureza, a pesquisa é aplicada, pois tem como um dos objetivos principais a produção de conhecimento a ser utilizado na construção civil e sugerir mudanças práticas nas empresas construtoras.

Com relação aos objetivos e procedimentos, a pesquisa é classificada como exploratória.

#### 3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento da pesquisa foi esquematizado na Figura 3, apresentada a seguir.

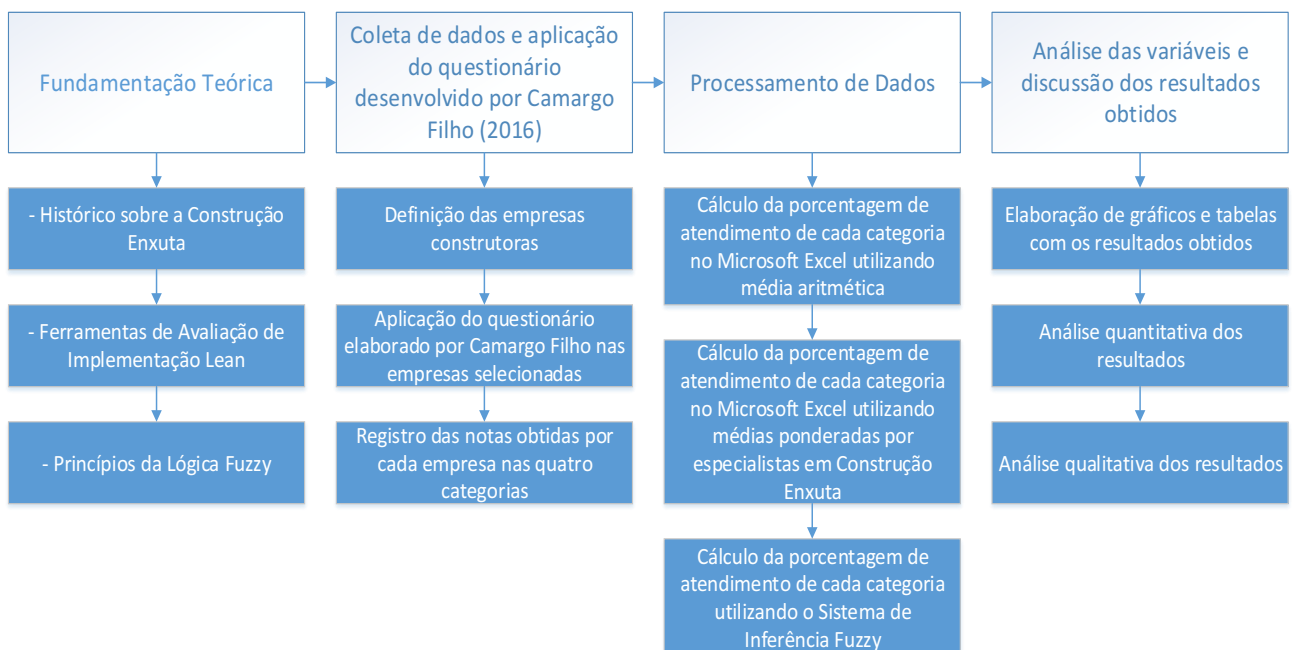


FIGURA 3: Fluxograma de Projeto.

### 3.3 DETERMINAÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DAS EMPRESAS PARTICIPANTES

Na segunda etapa da pesquisa, foram definidas as empresas participantes na pesquisa, as quais foram escolhidas segundo os critérios determinantes listados: 1) Ser um empreendimento com execução no mercado goiano; 2) Possuir um Sistema de Gestão da Qualidade e/ou Ambiental ou uma gestão estruturada dos seus processos; 3) Possuir uma logística e distribuição de suprimentos racionalizados com utilização de equipamentos de grande porte; e, 4) Possuir interesse em participar de estudos acadêmicos visando a melhoria de seus processos.

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS ANALISADAS

Os dados foram levantados em seis

empresas construtoras em Goiânia entre novembro e dezembro de 2016.

A partir da definição das empresas participantes, foi realizada uma caracterização das empresas analisadas, conforme ilustrado no Quadro 2.

### 3.5 APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO DE CAMARGO FILHO (2017)

Realizou-se a aplicação do questionário elaborado por Camargo Filho (2017) nas empresas participantes da pesquisa, coletando-se e registrando-se todas as notas atribuídas à cada critério.

Conforme destacado anteriormente, as notas atribuídas a cada critério do formulário poderiam variar de 0 a 2, onde estágio inicial é nota 0, amadurecimento é nota 1 ou melhoria contínua nota 2. O Quadro 3 retrata um modelo da planilha em que essas notas são anotadas nos espaços vazios.

**QUADRO 2:** Caracterização geral das empresas participantes, apresentando suas certificações de qualidade, tempo de atuação no mercado, quantidade de obras em andamento, porte e posicionamento em relação à aplicação da construção enxuta.

EMPRESA	CERTIFICAÇÕES	TEMPO DE ATUAÇÃO NO MERCADO	OBRAS EM ANDAMENTO NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 2017	PORTE DA EMPRESA <sup>1</sup>	DECLARA APLICAR A CE
<b>A</b>	ISO 9001, ISO14001, OHSAS 18001 e PBQP-H	30	5	Médio	Sim
<b>B</b>	ISO 9001, PBQP-H Nível A,	13	2	Médio	Sim
<b>C</b>	PBQP-H Nível A e ISO 9001	35	2	Grande	Não
<b>D</b>	ISO 9001, ISO 14001 OHSAS 18001, PBQP-H Nível A	10	2	Médio	Pretende aplicar
<b>E</b>	ISO 9001 e PBQP-H Nível A	35	6	Médio	Sim
<b>F<sup>2</sup></b>	ISO 9001 e PBQP-H Nível A	3	1	Grande	Sim



**QUADRO 3:** Planilha modelo utilizada para inserção de nota de cada critério na aplicação do formulário.

CATEGORIA	CRITÉRIO	SUBCRITÉRIO	EMPRESA A	EMPRESA B	EMPRESA C	EMPRESA D	EMPRESA E	EMPRESA F
<b>GQ</b>	1	1.1						
		1.2						
		1.3						
		1.4						
	2	2.1						
		2.2						
		2.3						
	3	3.1						
		3.2						
		3.3						
	4	4.1						
		4.2						
	5	5.1						
		5.2						
		5.3						
		5.4						
		5.5						
	6	6.1						
		6.2						
		6.3						
		6.4						
	7	7.1						
		7.2						
		7.3						
		7.4						

A partir da aplicação do formulário nas seis empresas participantes da pesquisa, os dados obtidos foram tabulados e analisados de três modos diferentes: média aritmética, média ponderada calculada a partir de análises feitas por especialistas da construção enxuta estabelecendo graus de importância à cada critério e resultados ponderados pelo *software Matlab*.

### 3.6 PROCESSAMENTO DE DADOS

A média aritmética foi realizada através do *Microsoft Excel*, gerando uma porcentagem de atendimento médio à cada categoria do formulário. Cada categoria apresenta um número de critérios entre 4 e 7 itens. A porcentagem de atendimento de cada categoria foi calculada como sendo a média das notas dos critérios, em relação à um atendimento total dos mesmos.

As ponderações que foram utilizadas para cálculo das médias ponderadas foram obtidas a partir da análise de seis especialistas na área de Gestão da Produção – Construção Enxuta com relação ao peso que cada uma das práticas exerce no diagnóstico *Lean* de uma empresa. Sendo 0 (zero) atribuído à estágio inicial, 1 (um) à amadurecimento e 2 (dois) à melhoria contínua. No Quadro 4 encontram-se os fatores correspondentes à essa ponderação.

Os aspectos analisados foram pelo Sistema de Inferência *Fuzzy* foram: importância, complexidade, tempo de implementação das práticas e tempo ideal de implementação da construção enxuta.

A importância dos critérios e de cada item, foram classificados como essencial, muito importante, pouco importante e irrelevante. Para a complexidade, poderiam ser complexos, intermediários ou básicos. O tempo de implementação das práticas foi classificado como fase inicial, fase de amadurecimento ou fase de melhoria contínua. Foi também perguntado sobre o tempo ideal de implementação da construção enxuta, sendo que para cada faixa de tempo determinou-se um estágio, que começavam no primeiro ano de implementação e iam até o quinto ano do processo.

A média das classificações de todos os especialistas foi utilizada como ponderação para determinação das porcentagens de atendimento. De modo simplificado, os resultados advindos do Sistema de Inferência *Fuzzy* foram processados até chegarem aos seus valores finais. Os dados de entrada para o processo são as notas atribuídas pelo entrevistador para cada empresa, o grau de complexidade, tempo e estágio de implementação. A partir dessa entrada, tem-se um processo de *Fuzzyficação*, que é a

transformação das grandezas de entrada em graus de pertinência relativo aos conjuntos *Fuzzy* de entrada. Logo após, os dados passaram por um processo de inferência, em que há a análise e ponderação dos dados e, por fim, a *defuzzificação*, processo esse que gera os dados de saída.

A partir dos três resultados adquiridos; média aritmética, média ponderada pelos especialistas e média obtida a partir do Sistema de Inferência *Fuzzy* foi possível elaborar gráficos de barras para melhor analisá-los quanto a sua potencialidade de resultados. O objetivo não é comparar as médias, mas avaliar as potencialidades na obtenção de resultados de cada uma.

#### 4. ANÁLISE DE DADOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A partir da aplicação da ferramenta LCAT nas empresas, obteve-se o *Lean score* de cada uma, que corresponde ao grau de

implementação da construção enxuta conforme o Quadro 5.

Nove aplicadores foram responsáveis pelas aplicações, pois para três empresas optou-se por utilizar a aplicação cruzada, ou seja, dois agentes diferentes aplicaram o formulário em uma mesma empresa para análise *Fuzzy*. Optou-se pelas empresas A, B e C, duas que declararam estar implementando a CE e uma que declarou não estar. Todos os aplicadores foram treinados para essa tarefa, sendo instruídos desde a fundamentação teórica da construção enxuta até a melhor prática de aplicação de cada critério do formulário. O treinamento ocorreu na disciplina optativa da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás chamada “Construção Industrializada”, durando 64 horas e foi finalizado com uma aula de revisão antes da aplicação. Todos os resultados foram apresentados às partes interessadas e desta aplicação originou-se um

QUADRO 4: Fatores de ponderação atribuídos por cada especialista.

			Fatores de Ponderação						Fator médio
			Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3	Especialista 4	Especialista 5	Especialista 6	-
GQ	1	1.1	0	0	0	0	0	0	0
		1.2	1	0	0	0	1	0	0,333333333
		1.3	2	1	1	1	1	0	1
		1.4	2	2	1	1	2	0	1,333333333
	2	2.1	2	0	2	0	0	1	0,833333333
		2.2	2	1	0	0	1	1	0,833333333
		2.3	2	2	0	1	2	0	1,166666667
	3	3.1	2	0	0	1	0	2	0,833333333
		3.2	2	1	0	2	1	2	1,333333333
		3.3	2	2	1	1	2	0	1,333333333
	4	4.1	2	0	0	0	0	1	0,5
		4.2	2	2	1	1	1	2	1,5
	5	5.1	1	0	0	1	0	1	0,5
		5.2	1	0	0	1	0	1	0,5
		5.3	1	1	0	1	1	1	0,833333333
		5.4	1	2	0	0	1	1	0,833333333
		5.5	1	2	0	2	1	1	1,166666667
	6	6.1	0	0	0	2	0	0	0,333333333
		6.2	2	0	0	0	1	1	0,666666667
		6.3	2	1	0	1	2	1	1,166666667
		6.4	1	2	0	1	2	2	1,333333333
	7	7.1	1	0	0	0	0	0	0,166666667
		7.2	2	1	0	0	1	0	0,666666667
		7.3	2	0	0	0	1	0	0,5
		7.4	1	0	0	0	1	0	0,333333333

segundo relatório, divulgado na Revista Construir Mais do Sindicato da Indústria da Construção Civil – Goiás (SINDUSCON – GO), com o diagnóstico das empresas. Uma primeira publicação já havia sido realizada na pesquisa de Camargo Filho (2012).

**QUADRO 5:** Grau de implementação da construção enxuta e *Lean score*.

Grau de Implementação	Lean Score
Muito pouco	0 - 20%
Pouco	20% - 40%
Médio	40% - 60%
Alto	60% - 80%
Muito alto	80% - 100%

A Figura 4 retrata um resumo com os três

diferentes tipos de média para cada empresa.

Por meio da Figura 4 pode-se identificar que a média ponderada apresenta os menores valores com relação às demais médias em todas as empresas participantes. Com exceção da empresa F, as médias aritméticas apresentaram valores intermediários e os resultados *Fuzzy* foram os maiores nas demais.

#### 4.1 MÉDIA ARITMÉTICA

É apresentada a seguir a média aritmética de cada empresa conforme Figura 5 e o *Lean Score* conforme Figura 6.

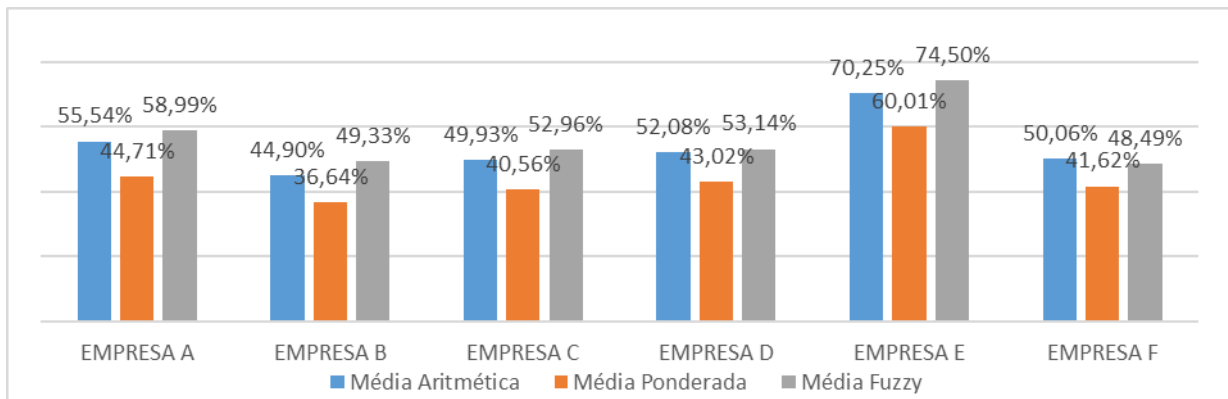


FIGURA 4: Médias aritmética, ponderada e *Fuzzy* por empresa.

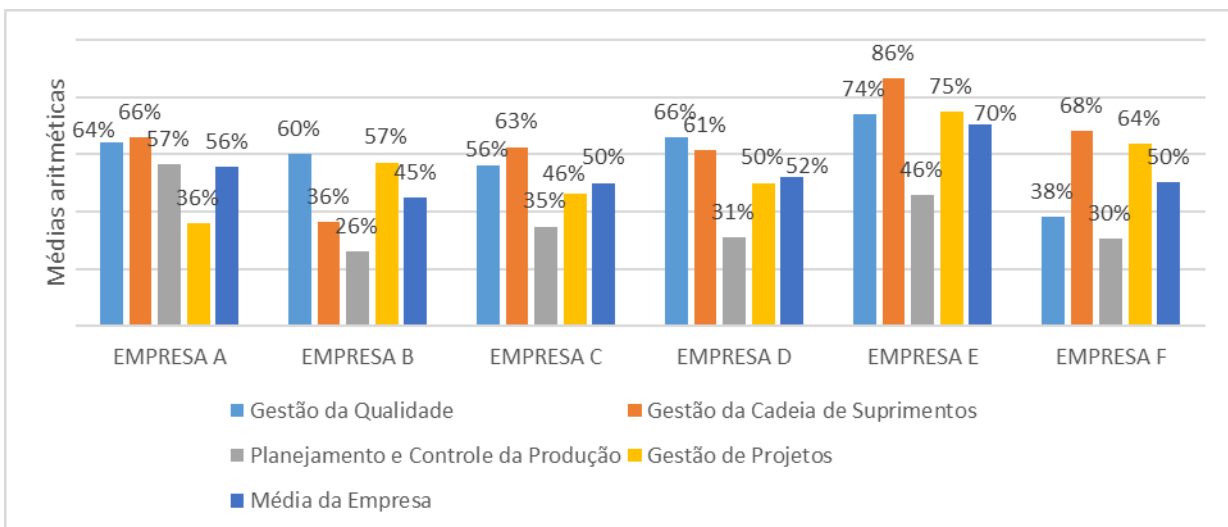


FIGURA 5: *Lean Score* por categoria utilizando média aritmética.

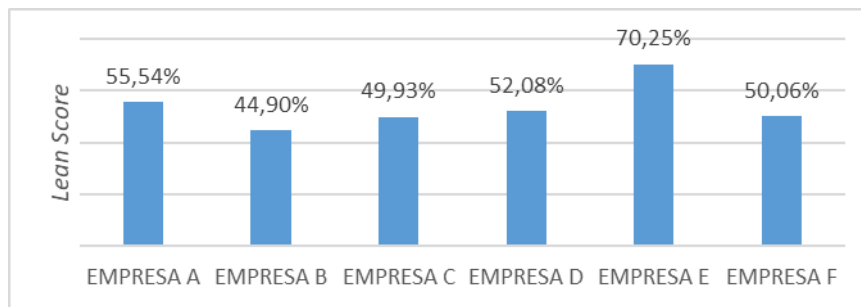


FIGURA 6: *Lean Score* por empresa utilizado média aritmética.

As empresas A, B, C, D e F apresentam um *Lean score* que varia de aproximadamente 44% a 56%, demonstrando que existe um processo de implementação dos fundamentos da construção enxuta. Entretanto foi possível notar que faltam alguns estágios importantes na consolidação dessa implementação, como a aplicação de ferramentas específicas enxutas, como mapeamento de fluxo de valor e planejamento de médio prazo, ambos encontrados dentro de planejamento e controle da produção.

#### 4.2 MÉDIA PONDERADA

A média ponderada de cada empresa é apresentada no gráfico da Figura 7 e o *Lean Score* está ilustrado na Figura 8.

A média ponderada por especialistas apresentou os menores índices quando comparada às demais médias em todas as empresas. Esse resultado se deve principalmente devido aos especialistas terem classificado a grande maioria dos itens em estágio inicial de implementação e amadurecimento, logo, devido ao fato de que os mesmos apresentam um menor peso no diagnóstico *Lean*, os valores de suas médias foram mais baixos.

#### 4.3 MÉDIA FUZZY

A média *Fuzzy* de cada empresa é apresentada por meio do gráfico da Figura 9 e o *Lean Score* através da Figura 10.

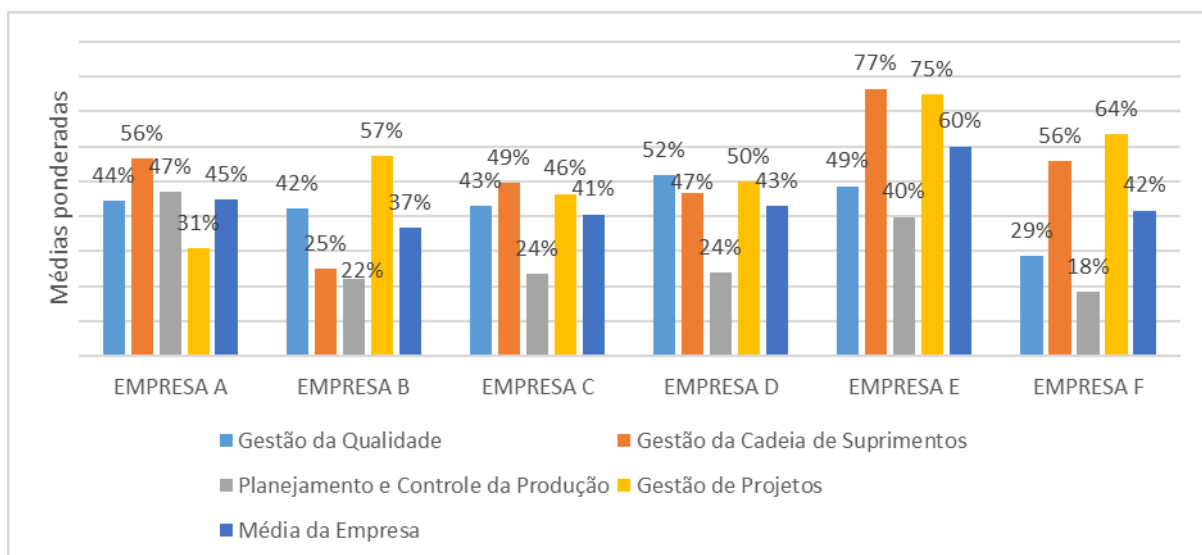


FIGURA 7: *Lean Score* por categoria utilizando média ponderada.

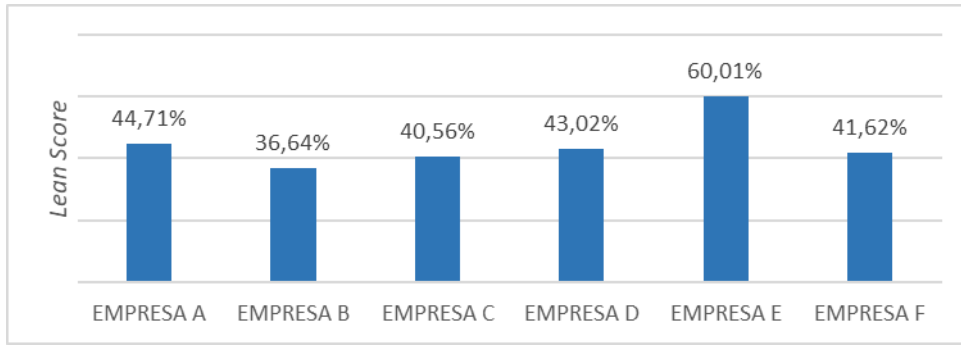


FIGURA 8: Lean Score por empresa utilizado média ponderada.

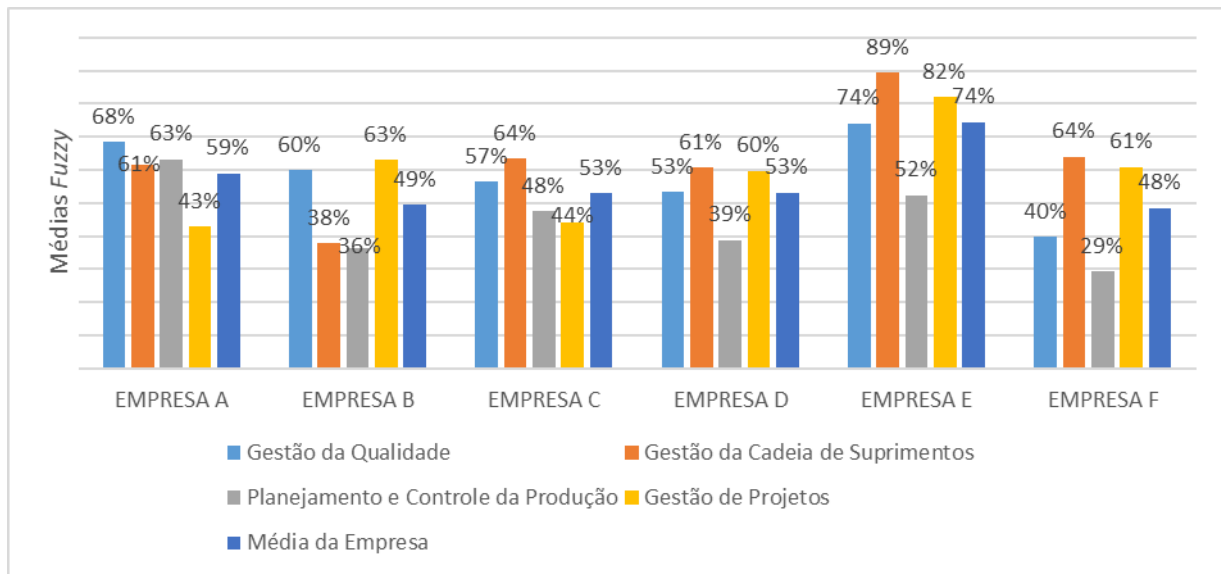


FIGURA 09: Lean Score por categoria utilizando média Fuzzy.

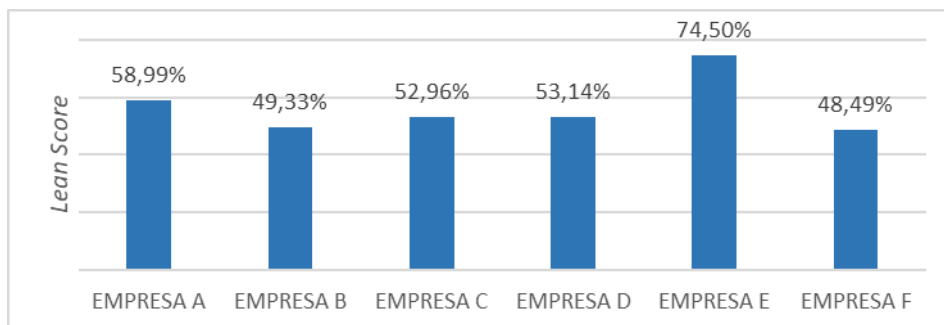


FIGURA 10: Lean Score por empresa utilizado média Fuzzy.

Percebe-se que, com exceção empresa E, que apresentou grau de implementação alto, todos os resultados foram semelhantes. Esses valores próximos à 50% caracterizam um grau de implementação médio e são justificados por dois fatores. Primeiro, o estágio de implementação considerado para todas as empresas foi zero, ou seja, as empresas estariam iniciando a implementação da construção enxuta e a avaliação foi menos exigente com itens não aplicados. A segunda justificativa é o bom desempenho da maioria das empresas nas categorias gestão da qualidade e gestão da cadeia de suprimentos. A maturidade na implementação do SGQ e o sistema de gestão de suprimentos articulado possibilitaram esse resultado.

## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos parâmetros analisados é possível concluir que os três tipos de média para cálculo do grau de implementação da construção enxuta em empresas construtoras cumprem a sua função e possuem vantagens específicas. Todos os três resultados são representativos e coerentes, não divergindo de modo significativo entre eles.

A média aritmética é a mais simples dentre as três, sendo rápida, prática e de fácil interpretação. Entretanto, a mesma não apresenta outros rigores estatísticos e considerações externas, a não ser o julgamento do avaliador ao atribuir determinada nota à cada critério estabelecido. A influência de valores extremos também é outro fator que pode prejudicar a mesma, por não representar bem o conjunto de valores.

A média ponderada por especialistas permite que a opinião de terceiros seja influente nos resultados obtidos. É possível distinguir a importância relativa de determinado item dentro de um conjunto de valores. Nesse caso, o tempo de implementação das práticas também influenciou no *Lean score*.

As médias calculadas a partir do Sistema de Inferência *Fuzzy* permitem que várias variáveis sejam levadas em consideração, dentre as quais:

importância, complexidade, tempo e estágio de implementação. Esse tipo de análise torna possível minimizar a influência do julgamento do avaliador e apresentar um diagnóstico da situação de modo mais detalhado. Esse tipo de média permite que seja feito um tratamento desses dados.

Portanto não é possível estabelecer uma comparação direta entre os mesmos, visto que cada um apresenta considerações e métodos de cálculo distintos com vantagens e desvantagens inerentes à cada média.

Com relação ao grau de implementação enxuta das empresas goianas, há um interesse em seguir os princípios do pensamento enxuto, mas não há um empenho articulado para implementação de práticas específicas. Apesar de uma das empresas que declarou estar implementando a construção enxuta obter um resultado superior a 70% nas médias aritmética e *Fuzzy*, e, conseqüentemente apresentar um grau de implementação considerado alto, não se pode afirmar que ela segue esses processos e ferramentas particulares. Não há um plano de ação específico para que as empresas desenvolvam e coloquem em funcionamento as ferramentas mais específicas dessa filosofia, mesmo já apresentando ganhos significativos com os processos já praticados.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, B. S. **Proposta de uma ferramenta de análise e avaliação das construtoras em relação ao uso da construção enxuta**. 2008. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, 2008.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Banco de dados: Estudos específicos da construção civil**. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/home/>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Banco de dados: PIB Brasil e Construção Civil**. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

CHAN FTS, KAZEROONI A, ABHARY K. **A Fuzzy approach to operation selection.** EngAppl Artif Intell 1997;

ETGES, B. M. B. S. Protocolo de auditoria do uso de práticas da construção enxuta. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

ETGES, B. M. B. S.; SAURIN, T. A.; BULHÕES, I. R. **A Protocol for Assessing the Use of Lean Construction Practices.** In: 21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2013, Fortaleza, Brazil. Proceedings... Fortaleza, Brazil. 2013. Disponível em: < <http://iglc.net/Papers/Details/896>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

ETGES, B. M. B. S.; SAURIN, T. A.; BULHÕES, I. R. **Identifying Lean Construction Categories of Practices in the IGLC Proceedings.** In: 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2012, San Diego, USA. Proceedings... San Diego, USA. 2012. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers/Details/767>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

FGV/IBRE – INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA. Banco de dados: Sondagem da Construção – **Índice de Confiança da Construção.** Disponível em: <<http://portalibre.fgv.br/main.jsp?lumChannelId=402880811D8E34B9011D92E5C726666F>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

HOWEL, G.; BALLARD, G. **Implementing Lean Construction: Understanding and Action.** In: 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 1998, Guarujá, Brazil. Proceedings... Guarujá, Brazil. 1998. Disponível em: < <http://iglc.net/Papers/Details/46> >. Acesso em: 13 mai. 2017.

HOWELL, G. A. **What is Lean Construction.** In: 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 1999, Berkeley, USA. Proceedings... Berkely, USA. 1999. Disponível em: < <http://www.iglc.net/Papers/Details/74>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction.** Center for Integrated Facility Engineering. 1992. 87f. Technical Report. Finland VTT Building Technology, Finland, 1992.

MIRON L., TALEBI S., KOSKELA L., e TEZEL A. **Evaluation of Continuous Improvement Programmes.** In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2016, Boston, USA. Proceedings... Boston, USA. 2016. Disponível em: < <http://iglc.net/Papers/Details/1287> >. Acesso em: 13 mai. 2017.

NETO J., **The Relationship Between Strategy and Lean Construction.** In: 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2002, Gramado, Brazil. Proceedings... Gramado, Brazil. 2002. Disponível em: < <http://iglc.net/Papers/Details/199> >. Acesso em: 22 mai. 2017.

SALEM, O.; SOLOMON, J.; GENAIDY, A.; MINKARAH, I. **Lean Construction: From Theory to Implementation.** Journal of Management in Engineering, v. 22, n. 4, p. 168–175, 2006.

SEBRAE: Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. SEBRAE-NA/ Dieese. **Anuário do trabalho na micro e pequena empresa 2013**, p. 17. Disponível em < [http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa\\_2013.pdf](http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa_2013.pdf)>. Acesso em 05 jun. 2017

SILVA, R. C. M. **Lógica Fuzzy aplicada à análise de empresas de construção civil segundo os princípios da construção enxuta.** 2011. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2011.

SILVA, R. S. M.; AMARAL, T. G.; SILVA, F. M. A. Fuzzy logic applied to Lean construction – **An implemetation in building companies.** Journal of Civil Engineering and Architecture Research. v. 1, n. 1, p. 37-44, 2014.

SINDUSCON: SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO NO ESTADO DE GOIÁS. **Revista Construir Mais.** Disponível em: <[https://issuu.com/sinduscongoias/docs/construir\\_mais\\_outubro\\_2016](https://issuu.com/sinduscongoias/docs/construir_mais_outubro_2016)>. Acesso em: 24 abr. 2017.

SINDUSCON: SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO NO ESTADO DE GOIÁS. JUNIOR, C. A. M. **A importância da gestão em momentos de crise..** Disponível em: < <http://www.sinduscongoias.com.br/index.php/en/assesoria-de-comunicacao-social/artigos/482-a-importancia-da-gestao-em-momentos-de-crise.html>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

SUSILAWATI, A.; TAN, J.; BELL, D.; SARWAR, M. **Fuzzy logic based method to measure degree of Lean activity in manufacturing industry.** JOURNAL OF MANUFACTURING SYSTEMS, United Kingdom, 2014.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Beyond Toyota: How to root out waste and pursue perfection.** Harvard Business Review. v. 74, n. 5, p. 140-158, Sept./Oct. 1996.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. **The machine that changed the world.** Macmillan Publishing Company, New York, USA, 1990.